



**УКОВОДСТВО
ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ
САМОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Издание четвертое

*Под общим руководством и редакцией
докт. техн. наук, профессора П. Н. БЕЛЯНИНА*

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

НИАТ — 1983

Введение

Технологичность является одним из основных параметров самолета, который должен быть обеспечен при проектировании наряду с летными характеристиками, надежностью, ресурсом и др. Это значит, что проектируемый самолет должен не просто выполнять определенную задачу, но выполнять ее наилучшим образом, с возможно меньшими затратами в производстве и эксплуатации.

Совершенство конструкции самолета в сфере производства определяется производственной технологичностью, под которой понимают свойство конструкции, позволяющее применить при ее изготовлении прогрессивные технологические процессы и обеспечить высокое качество при минимальных затратах труда и времени.

Для обеспечения производственной технологичности* при проектировании необходимо выполнять следующие общие требования, предъявляемые к конструкции:

1. Выбор простых аэродинамических форм агрегатов планера и уменьшение количества сопрягаемых поверхностей, обеспечивающих сокращение объема расчетных работ, количества специальной технологической и контрольной оснастки, специального оборудования и средств контроля.

2. Выбор рационального конструктивно-технологического членения планера, обеспечивающего расширение фронта работ и повышение уровня механизации и автоматизации технологических процессов. При этом следует соблюдать функциональную независимость и конструктивную законченность сборочных единиц.

3. Ограничение количества применяемых марок и сортамента материалов, что позволяет упростить организацию серийного производства и обслуживание рабочих мест. Максимальное использование материалов, обладающих высокими технологическими свойствами с точки зрения пластического деформирования, обработки резанием, сварки и др.

4. Использование модульного принципа создания новых изделий из унифицированных узлов и агрегатов, обладающих функциональной взаимозаменяемостью, а также нормализованных и стандартизованных деталей. Эти элементы конструкций можно производить на специализированных предприятиях с применением высокомеханизированных технологических процессов, обеспечивающих их высокое качество и низкую себестоимость.

5. Максимальное использование при проектировании изделий новой конструкции деталей, узлов и агрегатов, показавших хорошую работоспособность на предыдущих изделиях и изготавливаемых по освоенным технологическим процессам. Такая преемственность конструкций обеспечивает высокое качество их изготовления и улучшает технико-экономические показатели производства новых изделий.

6. Включение в конструкцию узлов и агрегатов технологических компенсаторов, позволяющих исключить из сборочных процессов подгоночные работы.

7. Максимальное соответствие конструктивного оформления деталей и подборок требованиям прогрессивных технологических процессов их изготовления, удобство базирования, наличие подходов для механизированной и автоматизированной обработки элементов конструкций и выполнения соединений, назначение рациональной точности изготовления, чистоты обработки поверхностей, степени взаимозаменяемости элементов конструкций и др.

8. Возможность применения объективных и высокопроизводительных методов контроля точности размеров и геометрической формы поверхности элементов конструкций, качества соединений, герметичности топливных и воздушных отсеков, бортовых систем самолетов и др.

Технологичность не является абсолютным свойством конструкции. Конструкция, технологичная в одних условиях производства, может оказаться нетехнологичной в других. Наиболее существенное влияние на технологичность оказывает объем выпуска изделия в связи с тем, что тот или иной технологический процесс является оптимальным только при определенном объеме выпуска.

Понятие «технологичность» также теряет определенность, если его рассматривать безотносительно к конкретному уровню развития технологии производства. В связи с бурным развитием технологии частные технологические требования к конструкциям быстро меняются. Конструкции, технологичные в определенный период времени, через несколько лет в связи с появлением новых эффективных технологических процессов могут оказаться нетехнологичными. Поэтому при оценке технологичности целесообразно ориентироваться на ближайшие перспективы развития технологии.

Конструкцию самолета нельзя рассматривать как арифметическую сумму технологичных деталей и

* Далее по тексту «технологичности».

подсборок. На практике часто наблюдается стремление уменьшить затраты по каждой стадии производства без анализа влияния этого уменьшения на затраты на других стадиях. Между тем, в ряде случаев целесообразно несколько увеличить затраты на одних стадиях производства в целях значительного уменьшения их на других стадиях и снижения в результате общих затрат на изготовление изделия. Создание технологичных конструкций требует комплексного решения, учитывающего требования всех стадий производства.

Настоящее «Руководство по технологичности конструкций самолетов», основное назначение которого — помочь конструктору создавать технологичные конструкции деталей, подсборок и бортовых систем, разработано по всем видам процессов, применяемых при производстве самолетов, с учетом современных достижений научно-исследовательских институтов и передового опыта промышленных предприятий.

По сравнению с третьим изданием (1972 г.) «Руководство» существенно переработано и допол-

нено. Исключены устаревшие материалы и включены новые разделы, в том числе:

- рекомендации по применению лазерных измерительных систем в производстве самолетов;
- рекомендации по автоматизации плазово-шаблонных работ;
- технологичность облегченных негорючих конструкций интерьера на основе полимера сотопласта;
- контролепригодность самолетных конструкций;
- рекомендации по технологичности конструкций, выполняемых высокоресурсными заклепочными соединениями, стержневыми заклепками на клепальных автоматах, заклепками с компенсатором;
- рекомендации по технологичности узлов клепаной конструкции, обеспечивающие выполнение соединений на сверлильно-клепальных автоматах;
- рекомендации по технологичности деталей остекления.

Авторский коллектив выражает благодарность всем специалистам НИАТ, заводов и конструкторских бюро, принимавшим участие в подборе, разработке и обсуждении материалов.

Составители: канд. техн. наук *М. Е. УЛАНОВ, В. В. БУЛЫЧЕВ,*
Д. М. ВЕТРОВА, Ю. В. ШЕВЕРЕВ, Г. Г. КУЗЬМЕНКО

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Глава 1. Внешние обводы и членение планера самолета	9	Глава 2. Конструктивно - эксплуатационные разъемы	15
Внешние обводы самолета	9	Технологические требования к расположению конструктивно-эксплуатационных разъемов .	17
Членение самолета	9	Технологические требования к проектированию конструктивно-эксплуатационных разъемов	17
Технологические разъемы и стыки	10	Глава 3. Технологические требования к узлам, секциям, отсекам и агрегатам	23
Панелирование агрегатов, отсеков и секций	12	Литература	28
Расположение силового набора	15		

Составители: С. С. БОГОСЛОВСКИЙ, М. М. МАКАРЫЧЕВА, Б. Ф. ЧИНЯКОВ, Б. К. КОНЬКОВ,
Е. М. АБРАМОВ, Л. П. ШНЫКИН, А. З. ПЕЧЕНКИНА,
Е. И. САМСОНОВА, Т. С. МУДАРИСОВ, А. А. МИНЕНКОВ, Г. Н. КОЛМАНОВИЧ

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.	Стр.
Глава 1. Обеспечение и оценка технологичности конструкций систем бортового оборудования	30
Глава 2. Технологичность конструкций трубопроводных систем	53
Эскизное проектирование	53
Рабочее проектирование	54
Конструктивно-технологическая обработка монтажа	68
Глава 3. Герметичность трубопроводных систем	70
Область применения контроля течением	70
Рекомендации по назначению степени герметичности	70
Технологичность конструкций при контроле герметичности	71
Рекомендации по выбору методов теческанирования	71
Глава 4. Чистота внутренних полостей и рабочих сред трубопроводных систем	75
Общие положения	75
Требования к конструкции систем	76
Отражение требований промышленной чистоты в технической документации	82
Количественная оценка технологичности конструкции на соответствие требованиям промышленной чистоты	83
Глава 5. Технологичность бортовых электросетей	84
Требования к проектированию электрожгутов	84
Конструктивно-технологическая отработка жгутов и их монтажа на изделии	84
Требования к разработке монтажных чертежей	85
Монтаж электрораспределительных устройств	86
Металлизация	86
Рекомендации по применению облегченных термостойких проводов марок БПДО, БИФ, БФС	87
Рекомендации по монтажу проводов в электрические соединители типа СНЦ-23	89
Глава 6. Технологичность конструкций механических систем управления самолетом	91
Эскизное проектирование	91
Рабочее проектирование	92
Конструктивно-технологическая отработка монтажа и регулировка системы на изделии	104
Глава 7. Обеспечение контролепригодности бортовых систем и комплексов	106
Общие положения	106
Обеспечение контролепригодности бортовых систем	106
Оценка контролепригодности бортовых систем	108
Литература	109
Техническая документация, рекомендуемая при отработке и оценке конструкции изделия на технологичность	109

Составители: канд. техн. наук *В. П. ОСИПОВ*, канд. техн. наук *В. С. СОТНИКОВ*,
д-р техн. наук *В. И. ЗАВЬЯЛОВА* (руководитель работы), *Э. А. ГОЛИКОВ*,
Л. В. АВДОШИНА, канд. техн. наук *А. А. ДОБРОВОЛЬСКИЙ*,
Л. С. БРОНШТЕЙН, канд. техн. наук *В. С. ШЕЛКОВ*, *И. Б. МАХОВА*,
канд. техн. наук *А. Г. ЕРШОВ*, *Ю. М. АНТОШИН*, *И. Г. ЛИННИКОВА*,
Ф. Е. ГОДУНОВ, канд. техн. наук *Е. И. СИЗОВ*,
канд. техн. наук *В. Н. МАЦНЕВ*

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Введение	113	Нервюры, диафрагмы, стенки	146
Глава 1. Технологичность конструкций деталей из листов, профилей и труб. Общие рекомендации	115	Жесткости	149
Выбор материала	115	Окантовки	152
Форма и размеры детали	116	Глава 5. Технологичность деталей каркаса из профилей	153
Точность деталей	118	Детали с подсечками	154
Глава 2. Технологичность конструктивных элементов деталей из листов	119	Малкованные детали	154
Конфигурация и размеры отверстий	119	Мелкие детали (компенсаторы)	155
Радиусы сгиба	121	Детали продольного набора	155
Борт	124	Детали поперечного набора	155
Отбортовки	129	Детали из титановых профилей	156
Рифты	133	Глава 6. Технологичность деталей интерьера из алюмопласта	157
Подсечки	135	Оконные панели	158
Глава 3. Технологичность деталей типа обшивок	135	Рамки оконных панелей	158
Обшивки одинарной кривизны	136	Детали типа коробок	158
Обшивки двойной кривизны	137	Глава 7. Технологичность деталей оборудования самолета	159
Обшивки с сотовым заполнителем	138	Глава 8. Технологичность деталей трубопровода	164
Монолитные панели	139	Типы деталей	164
Глава 4. Технологичность деталей каркаса из листа	143	Прямые детали	165
Плоские детали	143	Гнутые детали	165
Детали с контуром, образованным прямыми линиями	143	Патрубки	167
Детали с криволинейным контуром	144	Материалы, применяемые для изготовления трубопроводов	169
Малогобаритные детали	144	Литература	169

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Введение	171	Детали с элементами небольшой толщины	185
Глава 1. Общие рекомендации	172	Детали с отрезками и полостями	185
Выбор материала	172	Глава 4. Точность заготовок	186
Компоновка деталей	172	Назначение допусков	186
Линия разреза	174	Допуски на толщину стенки	188
Штамповочные уклоны	175	Глава 5. Шероховатость поверхности	189
Глава 2. Технологичность конструктивных элементов деталей	176	Глава 6. Отклонения по массе деталей с необрабатываемыми поверхностями	190
Толщина и ширина полотна	176	Определение отклонений	190
Расстояние между ребрами	177	Снижение привеса	193
Толщина и высота ребер	177	Глава 7. Оформление чертежа детали	194
Радиусы сопряжений, переходов и закруглений	178	Глава 8. Детали, получаемые холодным выдавливанием	197
Глава 3. Проектирование деталей	178	Применяемые материалы	197
Укрупненная классификация деталей	178	Конструирование деталей	197
Детали с ребрами	179	Точность	197
Детали с бобышками и отверстиями в них	181	Качество поверхности	197
Детали с утолщенными концами и фланцами из тонкостенных стальных труб	183	Литература	197
Детали с утолщенными концами и фасонными законцовками из тонкостенных дюралюминовых труб	184		

Составители: канд. техн. наук Ю. П. МАТВЕЙКО, канд. техн. наук Е. Б. ГЛОТОВ,
 докт. техн. наук Г. Л. ХОДОРОВСКИЙ, канд. техн. наук А. С. МУСИЯЧЕНКО,
 канд. техн. наук В. Г. АНТАШЕВ, З. С. ДЕМИДОВА, Ю. Н. КУПРИЯНОВ,
 В. Н. ГРЕЧКО, В. П. ТУЛЬСКИЙ

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Введение	199	Переходы и сопряжения стенок	212
Глава 1. Литые детали	200	Сопряжения стенки литой детали с ребрами	215
Выбор сплава	200	Окна, полости и отверстия в литых деталях	218
Глава 2. Выбор способа литья	205	Выполнение уклонов или конусности на конструктивных элементах литых деталей	220
Глава 3. Рекомендации по конструированию технологичных литых деталей	209	Назначение классов точности, допускаемых отклонений на размеры и массу литых деталей	221
Выбор принципа формирования литой детали при затвердевании	209	Глава 4. Правила оформления чертежей литых деталей	221
Определение поверхности разъема модели и формы	209	Литература	222
Выбор толщины стенок	210		

Составители: *М. И. БУЯНКО, Г. М. ВАСИЛЬЧЕНКО, В. Н. ГУСЕВ, В. М. ДМИТРИЕВ, А. Н. КУЗНЕЦОВ, С. М. КУЗНЕЦОВА, С. Ю. КУКУШКИН, к. т. н. Н. Н. КОЧЕТОВ, Н. И. ЛАТЫШЕВ, И. А. МАКАРОВ, Б. И. ПАНОВ, В. Г. ПИСЬМЕННЫЙ, П. Н. РОЩИН, к. т. н. Р. Э. САФРАГАН, А. П. СИПКИН, А. А. СМЕРНОВА, И. И. СУВОРОВ, С. М. СУСЛИНА, Н. А. ТОЛМАЧЕВ, Д. Б. ФИЛИППОВ, И. И. ШОНИН*

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.	Стр.
Глава 1. Основные факторы, влияющие на технологичность конструкций механообрабатываемых деталей	223
Материал заготовок	223
Выбор рациональных заготовок	225
Система простановки размеров	228
Точность размеров и шероховатость обрабатываемых поверхностей	232
Глава 2. Общие рекомендации по технологичности основных элементов конструкции деталей	245
Открытые плоскости	245
Сопрягаемые плоскости (колодцы, карманы, пазы, гнезда, выступы)	247
Наружные поверхности вращения	252
Внутренние поверхности вращения (отверстия)	254
Резьба и резьбовые соединения	259
Фасонные поверхности	261
Фаски и галтели	262
Глава 3. Технологичность типовых представителей основных классов деталей	263
Монолитные панели	264
Крупногабаритные детали из магниевых сплавов	267
Балки и лонжероны	271
Монорельсы	273
Шпангоуты, рамы и их детали	275
Детали узлов поворота	277
Длинномерные детали из прессованных профилей	278
Профили разъемов	283
Детали типа фитингов и кронштейнов	285
Рычаги и качалки	290
Фланцы и крышки	291
Краткая техническая характеристика специализированных металлорежущих станков и станков с программным управлением	293
Глава 4. Технологичность механообрабатываемых деталей с минимальным короблением	296
Технологичность конструкций заготовок и деталей для уменьшения их коробления в процессе механической обработки	296
Порядок расчета припусков на механическую обработку крупногабаритных деталей	297
Глава 5. Технологичность мест сопряжения агрегатов	298
Исходные полуфабрикаты	298
Технологичность отдельных элементов конструкций агрегатов	299
Оборудование	300
Глава 6. Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ПУ	300
Для фрезерных станков	301
Для токарных станков	303
Для многоцелевых станков	304
Требования к оформлению чертежей деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ	304
Глава 7. Применение технологической классификации для унификации и повышения технологичности деталей	306
Литература	309

Составители: докт. техн. наук А. С. КОНДРАТОВ, А. А. ВОРОНИН, Б. Л. МАЛЬВИНОВ,
К. Н. КИРИЛЛОВ, В. В. ЧЕРНЫШЕВА

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.	Стр.
Глава 1. Справочные данные по режимам резания и инструменту при лезвийной обработке	311
Классификация сталей и сплавов по обрабатываемости резанием	311
Режущий инструмент	314
Глава 2. Справочные данные по режимам резания и инструменту при абразивно-алмазной обработке	321
Процессы чистовой обработки	321
Шлифование	321
Алмазное шлифование	321
Скоростное шлифование	321
Ленточное шлифование	321
Процессы окончательной отделки	321
Тонкое сверхчистовое шлифование	321
Хонингование	321
Суперфиниширование	322
Полирование	322
Процессы обработки свободным абразивом	322
Доводка, притирка	322
Струйно-абразивная обработка	322
Магнитно-абразивная обработка	322
Выбор и технологические условия эксплуатации абразивного инструмента	323
Литература	326

Составители: *Г. К. ЛЕОНОВА*, канд. техн. наук *А. А. ЕРОХИН*, канд. техн. наук *Л. Д. БРОНДЗ*,
В. В. ЗОТОВ

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Глава 1. Область применения и выбор метода поверхностного упрочнения	327	Обкатывание деталей на автомате АР-16-100	334
Вибрационный метод	330	Метод раскатывания	335
Пневмодинамический метод упрочнения	331	Алмазное выглаживание	335
Дробеструйный метод	331	Глава 3. Оборудование для упрочнения	336
Ударно-барабанный метод упрочнения	331	Оборудование для вибрационного упрочнения	336
Метод обкатывания	332	Оборудование для упрочнения пневмодинамическим методом	336
Метод раскатывания	332	Оборудование для упрочнения дробеструйным методом	336
Алмазное выглаживание	333	Оборудование для ударно-барабанного упрочнения	336
Глава 2. Рекомендации по технологичности деталей, подвергаемых поверхностному упрочнению	333	Оборудование и оснастка для обкатывания	337
Вибрационный метод упрочнения	333	Оборудование и оснастка для раскатывания	337
Пневмодинамический и дробеструйный методы	334	Оборудование и оснастка для алмазного выглаживания	338
Ударно-барабанный метод	334	Литература	338
Метод обкатывания	334		

Составители: канд. техн. наук *С. В. ВАСИНА*, *А. И. ПЧЕЛКИН*, *Б. В. САХАРОВ*,
А. И. ПЕТРОВ, *И. В. СМИРНОВ*, *А. П. МОХНА*, *В. В. КАЛАЧЕВ*,
канд. техн. наук *В. Ф. ОРЛОВ*

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Глава 1. Электронно-лучевая размерная обработка (ЭЛО)	339	Схемы формообразования и оборудование	347
Сущность метода	339	Особенности метода и требования к конструкции деталей	348
Принципиальная конструкция и характеристика электронно-лучевых установок	340	Экономическая целесообразность применения метода	349
Технологические возможности метода ЭЛО	340	Глава 4. Электрохимическая обработка	349
Технико-экономическая целесообразность применения метода ЭЛО	342	Сущность и технологические возможности метода	349
Глава 2. Лазерная размерная обработка	342	Технологические особенности ЭХО и требования к конструкции деталей	350
Получение отверстий	342	Технико-экономическая целесообразность применения ЭХО	352
Лазерная резка	344	Литература	352
Глава 3. Электроэрозионная обработка	346		
Сущность метода и его технологические возможности	346		

Составители: канд. техн. наук *Б. П. НАЛЕТОВ, Н. К. ВАГИНА, И. А. АРТЕМЕНКО,*
А. А. СЕРОВ, В. М. ЧИСТИН, Л. П. ПАХТИН

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Технологичность деталей, обрабатываемых размерным травлением	353	Контроль деталей	358
Общие рекомендации	353	Влияние процесса размерного травления на прочность деталей	359
Размерное травление деталей из алюминиевых, титановых, магниевых сплавов, сталей	355	Экономические показатели процесса	359
Точность изготовления деталей	358	Действующая технологическая документация .	359

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.	Стр.
Материалы, применяемые для изготовления деталей и узлов летательных аппаратов	361
Основные виды термообработки	362
Конструктивно-технологические требования к деталям и узлам летательных аппаратов, подвергающимся термической обработке	363
Классификация деталей и узлов, подвергающихся термической обработке	364
Новые технологические процессы термической обработки и типовые представители деталей и узлов	365
Оборудование для термообработки деталей, узлов, подборок, агрегатов самолета	369
Литература	372

Составители: В. С. ЧУРКИН, Ю. Н. БЛИНОВ, А. Н. СУББОТИН, М. Г. ВАХНИЧЕВА,
Е. С. АНТОНОВА

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Ориентация листового органического стекла	373	Формование деталей остекления из ориентиро- ванного органического стекла	377
Применение ориентированного органического стекла	373	Технологические особенности формования ориентированного органического стекла	377
Технологические режимы ориентации органи- ческого стекла	373	Классификация деталей остекления из ориен- тированного органического стекла	377
Линейные размеры листов ориентированного органического стекла	373	Монтаж деталей остекления самолетов	379
Оборудование для ориентации органического стекла	374	Контроль степени размягчения органического стекла при нагреве его в установках перед ориентацией	384
Формование деталей остекления из неориентиро- ванного органического стекла	374	Контроль оптических искажений деталей остек- ления	384
Способы формования деталей остекления	374	Литература	385
Классификация деталей, изготовленных из не- ориентированного органического стекла	375		

Составители: Ю. Б. ВАХРУШЕВ, В. А. ГРЕЧИШКИН, С. С. ЕПИФАНОВА, Н. П. ЖУКОВА,
И. С. КАРПЕЙКИН, А. Ф. КОРЫТНИКОВ, Л. А. ЛЕВШИНА, Е. В. МОИСЕЕВ,
В. П. ПУШКОВ, З. И. ФИЛИППОВА

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Глава 1. Применяемые высокомолекулярные и высокопрочные наполнители и их технологичность	387	Автоклавное формование деталей, изготавливаемых методом выкладки и намотки	392
Глава 2. Общие рекомендации по технологичности деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ)	389	Изготовление деталей методом пропитки под давлением	393
Изготовление деталей методом выкладки с последующим формообразованием	390	Изготовление деталей методом прессования	393
Изготовление деталей методом намотки по геодезическим линиям	391	Типы соединений	393
		Литература	393

Составители: *М. К. ИВЛИЕВ, Н. С. БЕЛКИН* (глава 1); *В. И. ШАТАЛОВА* (руководитель работы), *Г. С. КРАВЧЕНКО, Н. Н. АБИН, И. А. ШЕФЕР, Г. С. ГУСЕВА, Н. К. ГРИШМАНОВА, В. А. ФОМИЧЕВ, А. А. ДУГИНОВА, В. Д. АКСЮТИН, В. В. ЗАВГОРОДНИЙ, В. М. ШУРЫГИН, Е. С. ЦЕНЦЕВИЦКАЯ* (глава 2); *А. П. СОБКО, А. П. ДУРИЦКИЙ, В. П. ФОМЕНКО, Л. М. БИБИК* (глава 3); *В. Е. БЕРСУДСКИЙ, В. Ф. КУЗОВНИКОВА, В. С. ВИЛЕНЦ* (глава 4); *Г. В. ВОЛЧКОВ, И. П. ГУРЬЕВА, А. Г. СИМОНИК, Е. М. ПРОНИНА, В. И. РЯЗАНЦЕВ* (глава 5); *О. А. ФИЛОДОР* (руководитель работы), *Н. Г. ШЕБЕКО, Р. С. МУРАВЬЕВ, Е. П. ШИРОКОВА, А. С. ЧУДОВ, Л. М. ФЕДЕНКО, А. В. ЛАРИНА, О. А. КЕДРОВА* (глава 6); *В. В. БАКУЛИН, О. А. БРУК, Г. Д. АНДРОНОВА* (глава 7); *Р. И. АЛИХАНИЯНЦ, Г. А. АФАНАСЬЕВА, Ф. Е. ГОДУНОВ* (глава 8).

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Глава 1. Выбор способов соединений	395	А. На этапах сверления, зенкования, обработки фасок под галтели болтов, снятия заусенцев	433
Соединение клепкой	395	Б. На этапах окончательной обработки точных отверстий	433
Соединение сваркой	396	В. На этапах постановки болтов, обеспечения тарированной затяжки гаек, контровки	433
Болтовые соединения	396	Руководство по технологичности болтовых соединений	433
Глава 2. Технологичность клепаных конструкций	397	Высокоресурсные болтовые соединения	439
Типовые представители узлов и отсеков клепаной конструкции	397	Особенности и преимущества соединений, выполняемых с упруго-пластическим натягом	439
Руководство по технологичности клепаных узлов, отсеков и агрегатов	397	Рекомендации по технологичности высоко-ресурсных болтовых соединений с натягом	439
Руководство по технологичности конструкций, выполненных с применением высоко-ресурсных заклепочных соединений	411	Требования при производстве болтовых соединений	444
Особенности соединений, выполненных стержневыми заклепками на сверлильно-клепальных автоматах	411	Литература	444
Руководство по технологичности узлов и панелей, соединения в которых выполнены стержневыми заклепками	412	Глава 4. Технологичность конструкций клеевых соединений	445
Особенности соединений, выполненных заклепками с компенсатором	412	Условные обозначения клеевых соединений	445
Прочностные характеристики соединений, выполненных заклепками с компенсатором	413	Рекомендации по выбору клеевых композиций (по данным ВИАМа)	445
Руководство по технологичности узлов, соединения в которых выполнены заклепками с компенсатором	414	Клеи для склеивания обшивок с сотовым наполнителем и соединений их с элементами каркаса	448
Особенности соединений, выполненных универсальными заклепками	415	А. Клеи для сотовых конструкций, работающих в интервале температур от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$	448
Форма и размеры универсальных заклепок	415	Б. Клеи для сотовых конструкций, работающих при температурах от -60 до $+150 \div +200^{\circ}\text{C}$	448
Прочностные характеристики соединений, выполненных универсальными заклепками	415	Физико-механические и технологические свойства клеев (по данным ЦАГИ)	448
Руководство по технологичности узлов, соединения в которых выполнены универсальными заклепками	415	Общие требования к проектированию клеевых конструкций из алюминиевых сплавов	449
Руководство по технологичности узлов клепаной конструкции, обеспечивающее выполнение соединений на сверлильно-клепальных автоматах	416	Технологичность клеевых панелей стрингерной конструкции из алюминиевых сплавов	449
Руководство по технологичности узлов и агрегатов с применением болт-заклепочных соединений	420	Технологичность слоистых клеевых конструкций из алюминиевых сплавов и клееклепанных соединений	450
Основные требования при проектировании конструкций с использованием болт-заклепочного соединения	420	Технологичность сотовых клеевых конструкций из алюминиевых сплавов	453
Руководство по технологичности узлов и агрегатов с применением заклепок для односторонней клепки	427	Выбор формы и размеров ячеек, материала фольги и высоты сотового наполнителя	453
Основные требования при проектировании конструкций с использованием соединений заклепками для односторонней клепки	427	Расположение дренажных отверстий в сотовых наполнителях	454
Литература	432	Допустимые габаритные размеры сотовых наполнителей	454
Глава 3. Технологичность конструкций болтовых соединений	432	Способы соединения блоков сотовых наполнителей между собой и с элементами каркаса	454
Основные направления по повышению технологичности конструкций болтовых соединений	433	Заделка кромок узлов	455
		Выполнение участков узлов и агрегатов, воспринимающих сосредоточенные нагрузки	456
		Соединение обшивок между собой, с сотовым наполнителем и элементами каркаса	456

	Стр.
Соединение сотовых панелей между собой и с элементами каркаса	457
Литература	457
Глава 5. Технологичность сварных конструкций	458
Руководство по унификации обозначений сварных соединений и способов сварки в конструкторской и технологической документации	458
Условные обозначения сварных соединений	458
Условные обозначения способов сварки	463
Условные изображения и обозначения швов в конструкторской документации	465
Способы сварки и область их применения	466
Технологические возможности оборудования для сварки	468
Дуговая, плазменная и электрошлаковая сварка	468
Контактная сварка	470
Электронно-лучевая сварка	470
Технологические требования к конструкциям сварных деталей и узлов	472
Общие требования	472
Требования к конструкциям из алюминиевых сплавов	473
Требования к конструкциям из титановых сплавов	473
Требования к конструкциям из конструкционных сталей средней и высокой прочности	473
Требования к конструкциям из теплостойких нержавеющей сталей	474
Требования к соединениям, выполняемым контактной сваркой	474
Требования к соединениям, выполняемым сваркой плавлением	498
Требования к клеесварным конструкциям	498
Руководство по конструированию основных элементов сварных деталей и узлов	498
Выбор способа сварки	498
Руководство по технологичности конструкций типовых деталей и узлов	500
Прочностные характеристики сварных соединений	518
Прочность при статических нагрузках	518
Прочность сварных соединений при статических нагрузках в условиях повышенных температур	518
Прочность при циклических нагрузках	518
Литература	534
Глава 6. Технологичность конструкций паяных соединений	534
Общие рекомендации	534
Выбор способа пайки	534
Пайка материалов, применяемых в самолетостроении	535

	Стр.
Медь и ее сплавы	535
Нержавеющие высокопрочные стали	536
Титановые сплавы	536
Алюминий и его сплавы	536
Применение припоев и флюсов	536
Припой	536
Флюсы	537
Специальные среды	540
Прочность паяных соединений	540
Рекомендации по технологичности паяных узлов	542
Конструирование паяных узлов	542
Конструкции из трехслойных панелей с сотовым наполнителем	545
Трубопроводы	547
Стационарная пайка трубопроводов	547
Монтажная пайка трубопроводов	548
Электрокоммуникации	549
Пайка медных и компенсационных проводов	549
Пайка алюминиевых проводов	550
Литература	550
Глава 7. Технологичность конструкций неразъемных герметичных соединений	550
Методы герметизации соединений, узлов и агрегатов	551
Поверхностный метод	551
Внутришовный метод	552
Комбинированный метод	553
Герметизирующие материалы и их характеристики	554
Классификация герметизирующих материалов	554
Краткие характеристики герметиков	554
Особенности применения герметиков	558
Факторы, определяющие работоспособность герметичных соединений	558
Рекомендации по выбору схем герметизации и оформлению чертежей герметичных соединений и отсеков	560
Выбор и оценка схем герметизации соединений	560
Рекомендации по конструированию герметичных соединений, отсеков и оформлению их чертежей	562
Литература	565
Глава 8. Технологичность конструкций интерьера	566
Особенности выполнения узлов интерьера сотовой конструкции	566
Применяемые материалы	566
Сотопласт ПСП-1	566
Препрег ЭП-1МП	567
Классификация панелей интерьера по технологическим признакам	567
Литература	569

Составители: докт. техн. наук, профессор *С. В. РУМЯНЦЕВ*, *В. Р. АНИСИМОВ*,
канд. физ.-мат. наук *Л. С. ПАВЛЮКОВ*, *Л. Ф. СКЛИЗКОВА*,
канд. техн. наук *В. А. ДОБРОМЫСЛОВ*, канд. техн. наук *В. М. САПОЖНИ-*
КОВ, канд. техн. наук *Е. М. АБРАМОВ*, *И. П. ТИТОВ*, *С. В. БОГДАНОВИЧ*,
Е. В. ГАГИС

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Введение	571	Глава 6. Капиллярные методы неразрушающе-	595
Глава 1. Общие требования по дефектоскопи-		го контроля	595
ческой технологичности и контролепригодно-	571	Сущность капиллярных методов	595
сти конструкций		Область применения	597
Глава 2. Радиационные методы неразрушаю-		Средства капиллярно-дефектоскопического	598
щего контроля	572	контроля	
Сущность и характеристика методов	572	Дефектоскопическая технологичность конст-	
Область применения	574	рукций узлов и деталей, подвергаемых ка-	
Средства радиационно-дефектоскопического		пиллярному контролю	600
контроля	575	Глава 7. Оптический неразрушающий контроль	601
Обеспечение дефектоскопической техноло-		Сущность и характеристика оптического ви-	
гичности конструкций, подвергаемых радиа-	583	зуального контроля	601
ционно-дефектоскопическому контролю		Область применения визуального оптиче-	
Глава 3. Акустические методы контроля	585	ского контроля	601
Сущность методов	585	Оптические приборы для визуального кон-	
Классификация методов и область их при-		троля	601
менения	585	Дефектоскопическая технологичность дета-	
Средства акустического контроля	588	лей, узлов и конструкций изделий, подвер-	
Требования по технологичности	590	гаемых оптическому визуальному контролю	603
Технологичность деталей при использо-		Глава 8. Тепловые методы контроля	603
вании ультразвукового контроля	590	Сущность методов	603
Технологичность сварных соединений при		Область применения	603
использовании ультразвукового контроля	590	Рекомендации по применению методов и	
Технологичность клеевых и паяных соеди-		средств ИК-термодефектоскопии	603
нений при ультразвуковом и импедансно-	591	Обеспечение дефектоскопической техноло-	
акустическом контроле		гичности конструкций, подвергаемых ИК-	
Глава 4. Магнитные методы контроля	592	термодефектоскопии	605
Сущность и характеристика магнитных ме-		Глава 9. Контроль течением	606
тодов контроля	592	Сущность и область применения контроля	
Область применения магнитных методов	592	течением	606
Средства контроля магнитными методами	592	Рекомендации по назначению степени гер-	
Требования по технологичности и контроле		метичности	606
пригодности конструкций, подвергаемых	593	Требования к технологичности конструкций	
магнитному контролю		при контроле течением	607
Глава 5. Вихрековые методы контроля	594	Рекомендации по выбору методов контроля	
Сущность и характеристика методов	594	течением	607
Область применения	594	Глава 10. Комплексное применение методов не-	
Средства контроля	594	разрушающего контроля	610
Требования по технологичности и контроле-		Литература	611
пригодности деталей, подвергаемых вихре-	595		
токовым методам неразрушающего контроля			

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Введение	613	Глава 3. Сборка, стыковка и нивелировка самолетов с помощью ЛЦИС	622
Глава 1. Особенности конструкций лазерных измерительных систем и методов их применения	613	Рекомендации по сборочным процессам	622
Лазерные центрирующие измерительные системы	614	Рекомендации по разметке сборочных баз лазерным лучом	624
Лазерные контурные измерительные системы	615	Рекомендации по стыковке и нивелировке летательных аппаратов с помощью ЛЦИС	625
Лазерные измерители перемещений	615	Стыковка отсеков фюзеляжа по опорным лучам ЛЦИС с базой на ТКП	626
Глава 2. Монтаж и безмакетная увязка сборочной оснастки	617	Проверка оси симметрии самолета и вертикального положения киля с помощью ЛЦИС	626
Установление допусков на средства монтажа и контроля оснастки	617	Проверка расположения реперных точек в плановой проекции самолета с помощью системы световодов и ЛЦИС	626
Монтаж ступеней с помощью ЛЦИС-3	619	Литература	626
Безмакетная увязка сборочной оснастки	620		

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Введение	627	Глава 3. Методы и средства контроля геометрических параметров узлов и агрегатов планера самолета	640
Глава 1. Основные средства и методы контроля	627	Глава 4. Методы и средства контроля расположения поверхностей	643
Общие рекомендации	627	Глава 5. Трехкоординатные измерительные машины	647
Глава 2. Контроль крупногабаритных деталей	635	Глава 6. Методы и средства контроля шероховатости поверхности	651
Монолитные панели	635	Материалы, применяемые для слепков при контроле шероховатости поверхности	656
Контроль диаметров длинных валов и глубоких отверстий в деталях типа цилиндра в процессе шлифования	637	Глава 7. Контроль пригодности	657
Контроль диаметров валов	637	Литература	658
Контроль диаметров глубоких отверстий	638		

Составители: И. А. ЯКУШКИН, канд. техн. наук Л. С. ФЕЛЬДМАН, С. Г. ШИЧИНСКИЙ,
А. М. САБАДАШ, Н. В. СЕРГУШКОВ. Ю. П. МАСЮК, Б. Г. КРАВЧЕНКО,
В. Я. ДЕРЕЧА

Научный редактор канд. техн. наук Л. С. ФЕЛЬДМАН

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Глава 1. Контролепригодность конструкций планера самолета	659	Примеры конструктивных решений по обеспечению дефектоскопической контролепригодности	666
Рекомендации по обеспечению дефектоскопической контролепригодности и инструментальной доступности	659	Глава 2. Оформление документации на проведение неразрушающего контроля в условиях производства и испытаний самолетов	671
Примеры контролепригодных конструкций	662	Литература	678
Примеры неконтролепригодных конструкций	665		

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Глава 1. Общие положения	679	Электрические методы обработки	681
Глава 2. Общие рекомендации по безопасности при создании самолетных конструкций	680	Сварочные работы	682
Металлы и сплавы и неметаллические мате- риалы	680	Пайка	682
Литейные работы	680	Термообработка	683
Заготовительно-штамповочные работы	680	Работа с неметаллами	683
Механическая обработка	681	Сборочные работы и наземные испытания	684
		Заключение	684
		Литература	684

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Глава 1. Способы и методы задания аэродинамических поверхностей самолета и основные требования к ним	685	Глава 4. Изготовление обводообразующей оснастки с использованием средств ЭВТ и оборудования с ЧПУ	693
Глава 2. Автоматизированный расчет геометрической информации агрегатов планера и классификация инженерно-геометрических задач	690	Глава 5. Директивная технологическая документация на изготовление плазов, плоской и объемной обводообразующей оснастки	697
Глава 3. Автоматизация плазовых работ	691	Заключение	699

Составители: докт. экон. наук *Н. В. ХРУЛЕВ, В. П. ЛЮБИМОВ,*
канд. экон. наук *В. Г. САМОЙЛОВ, Н. В. РЯБНИНА, З. А. ГРИШАНОВА*

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.	Стр.
Глава 1. Общие положения	701
Глава 2. Определение металлоемкости новых са- молетов и стоимости материалов, расходуемых в серийном производстве	707
Определение чистой массы металлоконструк- ции по видам заготовок и металлов	707
Определение нормы расхода металла на изделие	708
Определение стоимости металлов на изделие	708
Определение общей стоимости материалов на изделие	708
Глава 3. Методика определения трудоемкости изготовления самолетов в серийном произ- водстве	711
Определение трудоемкости изготовления са- молетов оригинальной конструкции	711
Определение трудоемкости изготовления мо- дифицированных самолетов	713
Глава 4. Определение себестоимости серийного производства и цены новых самолетов и вер- толетов	714
Метод укрупненного расчета собственных затрат	715
Метод расчета собственных затрат по статьям калькуляции	715
Установление динамики собственных затрат	716
Расчет стоимости покупных комплектующих изделий и двигателей и определение полной себестоимости летательного аппарата	717
Установление оптовой цены изделия	718

Технологичность конструкций агрегатов и узлов содержит ряд коренных вопросов, от рационального решения которых во многом зависит уровень технологичности планера самолета в целом. К таким вопросам относятся форма внешних обводов и об-

щая компоновка агрегатов самолета, степень конструктивно-технологического членения планера и его агрегатов, расположение силового набора, расположение и оформление конструктивно-эксплуатационных разъемов и др.

Глава 1. ВНЕШНИЕ ОБВОДЫ И ЧЛЕНЕНИЕ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА

ВНЕШНИЕ ОБВОДЫ САМОЛЕТА

Технологичность самолетов в значительной степени определяется рациональным выбором аэродинамических обводов, к которым предъявляются следующие основные требования:

1. Простота аэродинамических форм агрегатов планера и всех входящих в конструкцию планера элементов.

2. Максимальное применение поверхностей одинарной кривизны, то есть поверхностей с прямыми линиями образующими, которые обеспечивают:

— простоту, точность и оперативность выполнения геометрических расчетов, в том числе расчетов геометрической информации о контурах и поверхностях при подготовке управляющих программ для оборудования с ЧПУ при автоматизированном изготовлении плазов и обводообразующей оснастки;

— высокую точность и простоту выполнения плазовой проработки агрегатов. В случае линейчатой поверхности, заданной двумя ее плоскими сечениями, контуры всех промежуточных сечений могут быть определены простейшим расчетом или графическим построением на одной проекции.

Применение линейчатых поверхностей дает следующие преимущества:

— предельно упрощаются обработка и контроль рабочих контуров и поверхностей плоской и объемной рабочей и контрольно-эталонной технологической оснастки. Обработка сводится к обеспечению прямолинейности образующих между двумя базовыми сечениями, для чего требуются более простые станки с ЧПУ (по числу программно-управляемых координат);

— устраняется необходимость изготовления шаблонов продольного набора сечений агрегата, что сокращает количество и трудоемкость изготовления оснастки;

— отпадает необходимость изготовления эталонов и макетов поверхности, так как увязку оснастки

можно выполнить расчетным путем, создав математическую модель поверхности агрегата.

3. Максимальное применение цилиндрических поверхностей (круглые и некруглые цилиндры).

Круглые цилиндры имеют существенное преимущество — постоянство поперечных сечений по длине, что обеспечивает:

— простоту выполнения плазовых работ (или совсем отпадает необходимость их выполнения ввиду замены расчетом на ЭВМ);

— сокращение номенклатуры шаблонов, рубильников и заготовительной оснастки, а следовательно, уменьшение трудоемкости их изготовления.

4. Обеспечение высокой преемственности аэродинамических форм агрегатов планера, что позволяет значительно сократить объем и трудоемкость изготовления плазов и обводообразующей оснастки и, кроме того, вторично использовать ранее изготовленную оснастку.

ЧЛЕНЕНИЕ САМОЛЕТА

Под членением понимается разделение самолета конструктивными, эксплуатационными и технологическими разъемами и стыками на агрегаты, отсеки, секции, узлы и детали.

Разъем — соединение, позволяющее некоторые перемещения или полное отсоединение одного агрегата (узла) от другого без повреждения основных и крепежных элементов конструкции.

Стык — любое неразъемное соединение, не позволяющее отсоединить один узел (секцию, отсек) от другого без повреждения основных и крепежных элементов конструкции.

Конструктивными называются разъемы и стыки, обусловленные различием в функциональном назначении отдельных элементов планера или особенностями их конструкции.

Эксплуатационными называются разъемы, определяемые требованиями эксплуатации — транспор-

тировки, замены отдельных частей планера, двигателя, оборудования и т. п.

Технологическими называются разъемы и стыки, определяемые требованиями независимого и параллельного изготовления отдельных частей самолета.

Применение конструктивных, эксплуатационных или технологических разъемов и стыков определяется тем, какие требования при членении приняты за основные. Возможно совмещение конструктивных, эксплуатационных и технологических разъемов и стыков, что способствует уменьшению массы конструкции за счет сокращения их общего количества.

При членении учитывают также требования, обусловленные улучшением летно-тактических характеристик самолета и общими тенденциями развития авиационной техники. Например, увеличение монолитности конструкции деталей и сборочных единиц, создание «интегральных» конструкций агрегатов без эксплуатационных разъемов приводит к уменьшению количества стыков и деталей крепления, что, в свою очередь, улучшает массовые характеристики самолета. В то же время большая монолитность конструкции, как и мелкое членение, могут быть при определенных условиях, неэффективными с точки зрения технологических, экономических или организационных требований. Оптимальное членение конструкции должно определяться на основе технико-экономических расчетов с учетом конкретных условий производства.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗЪЕМЫ И СТЫКИ

В серийном производстве конструктивно-эксплуатационных разъемов, как правило, недостаточно, поэтому вводят технологические разъемы и стыки, членившие агрегаты на более мелкие сборочные единицы — отсеки, секции и узлы.

Технологическое членение агрегатов целесообразно проводить в начальный период проектирования, так как от характера членения зависит выбор конструкции деталей, методов и средств их сборки, способов соединения деталей и узлов, схемы герме-

членение агрегатов на отсеки, секции и узлы — важнейшее технологическое требование к конструкции.

Расчлененная конструкция обеспечивает:

- расширение фронта работ при проектировании технологических процессов и средств оснащения, что сокращает сроки и трудоемкость подготовки производства;

- комплексную механизацию и автоматизацию процессов выполнения соединений, что приводит к повышению их качества, росту производительности труда и улучшению условий труда;

- наилучшие условия для контроля качества основной массы соединений;

- расширение фронта работ путем организации параллельной сборки отсеков, секций и узлов, что сокращает цикл сборочных работ;

- транспортировку и ремонт агрегатов и отсеков.

При решении вопросов членения агрегатов необходимо учитывать:

- возможность применения прогрессивных методов сборки;

- характеристики технологического оборудования;

- наличие и удобство подходов для выполнения сборочного процесса;

- программу выпуска изделия.

Создание пассажирских высокоресурсных самолетов без конструктивно-эксплуатационных разъемов предъявляет ряд требований к технологическому членению агрегатов.

Технологическое членение крыла без конструктивно-эксплуатационных разъемов (КЭР) на отсеки определяется назначением отсеков и необходимостью выделения герметичного отсека в самостоятельную сборочную единицу для обеспечения механизации процесса герметизации и контроля герметичности. Технологические стыки отсеков определяются схемой расположения лонжеронов и контуром герметичного отсека. Секции крыла образуются из отдельных панелей, количество которых в секции определяется габаритными размерами листов для обшивки и характеристиками оборудования для выполнения соединений (рис. I.1.1.).

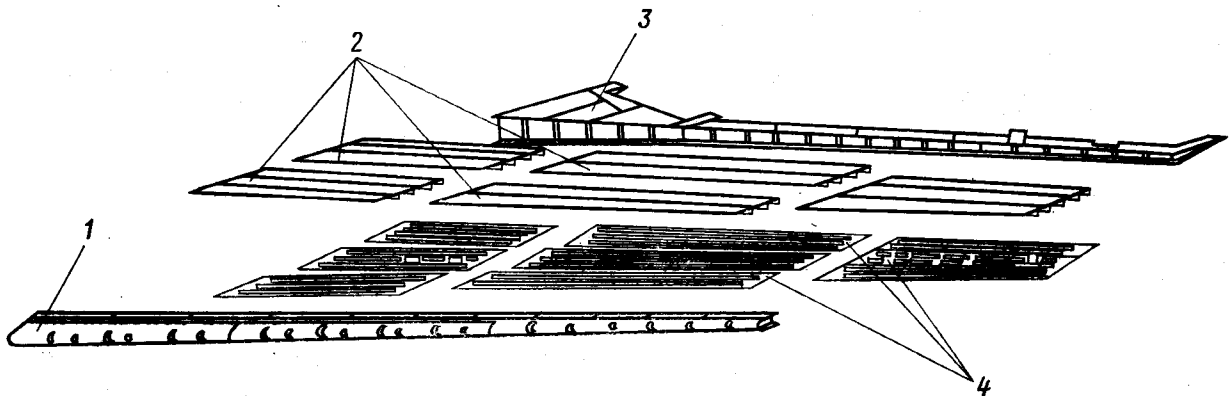


Рис. I.1.1. Членение консоли крыла без КЭР:

1 — носовая часть; 2 — верхние секции; 3 — хвостовая часть; 4 — нижние секции.

тизации топливных и воздушных отсеков, а в случае сварной конструкции — порядок сварки замыкающих швов.

Технологическое членение фюзеляжа без КЭР на отсеки определяется назначением отдельных частей фюзеляжа с учетом постоянства закона формообра-

зования поверхности в пределах одного отсека, а также требованиями качественной и нетрудоемкой стыковки крыла с фюзеляжем. Для обеспечения стыковки крыла и фюзеляжа необходимо предусмотреть два технологических стыка, расчленяющих фюзеляж на носовую (Ф-1), среднюю (Ф-2) и хвостовую (Ф-3) части. Сборку отсека Ф-2 целесообразно вести на базе крыла, носовой и хвостовой частей фюзеляжа (рис. 1.1.2.). Необходимость дополнительного членения фюзеляжа на отсеки определяется его конструкцией и принятой организацией производства, учитывающей программу выпуска изделия.

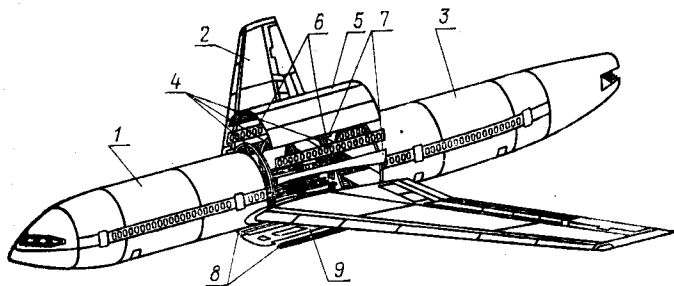


Рис. 1.1.2. Стыковка крыла и фюзеляжа без КЭР.

В положение для стыковки устанавливаются: 1 — носовая часть фюзеляжа; 2 — окончательно собранное крыло; 3 — хвостовая часть фюзеляжа. Для сборки средней части фюзеляжа поступают: 4 — ободы стыковых шпангоутов; 5 — верхняя секция; 6 — оконные панели; 7 — надкрыльевые панели; 8 — силовые бимсы; 9 — подцентропланная панель.

Членение отсеков фюзеляжа на секции определяется габаритными размерами листов обшивки, характеристиками оборудования для выполнения соединений и принятой схемой сборки отсеков.

Членение сварных агрегатов должно обеспечивать свободные подходы к месту сварки, позволяющие автоматизировать и механизировать трудоемкие работы по подготовке кромок и поверхностей, а также процесс сварки.

Для выполнения этих требований необходимо — при образовании сложных поверхностей в конструкциях предусматривать их членение на переходах кривых (рис. 1.1.3);

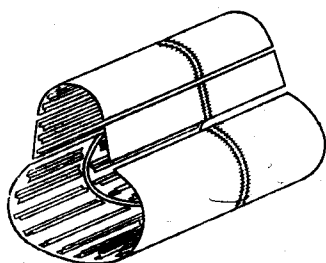


Рис. 1.1.3. Членение отсека сварной конструкции, образованного сочетанием различных поверхностей.

— для агрегатов типа тел вращения (фюзеляж, мотогондола и т. п.) сварные швы располагать в плоскостях, проходящих через продольную ось, или в плоскостях, параллельных или перпендикулярных ей;

— технологические стыки отсеков располагать в одной плоскости, не допускать в конструкции ступенчатых стыков, как самых нетехнологичных;

— не допускать в конструкции стыка «ступенек», выступов, подсечек, которые приводят к двойному базированию и дополнительной ручной подгонке (рис. 1.1.4). Для зон, не выходящих в воздушный поток, предпочтительнее стыковка внахлест (рис. 1.1.5);

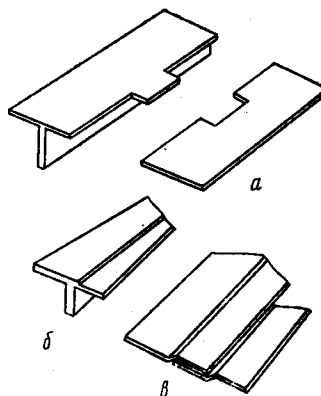


Рис. 1.1.4. Примеры нетехнологичных конструкций стыка, приводящих к двойному базированию и трудоемкой подгонке:

а — выступы и карманы; б — ступеньки; в — подсека.

— не допускать в конструкции стыка сочетания контактной сварки и сварки плавлением (рис. 1.1.6);

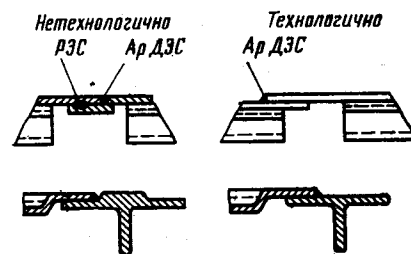


Рис. 1.1.5. Примеры технологических стыков для зон, не выходящих на аэродинамический контур.

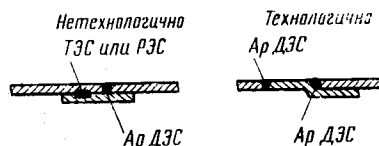


Рис. 1.1.6. Пример технологического стыка, выполненного одним видом сварки.

— обеспечить двусторонний подход к швам «главного направления» (швы в направлении наибольшей длины) для непрерывной работы автоматического сварочного оборудования (рис. 1.1.7, 1.1.8);

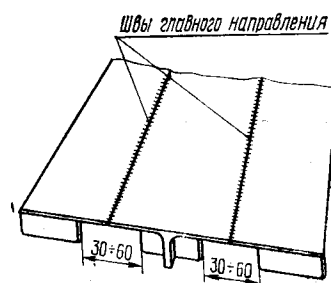


Рис. 1.1.7. Пример конструктивного оформления сварного соединения панелей, обеспечивающего применение сварочного автомата.

— предусмотреть возможность контроля сварных соединений и устранения дефектов.

При технологическом членении сварных конструкций следует:

— для обеспечения посекционной сборки и требований взаимозаменяемости предусматривать компенсационные отсеки (ленты или панели), компенсирующие деформации;

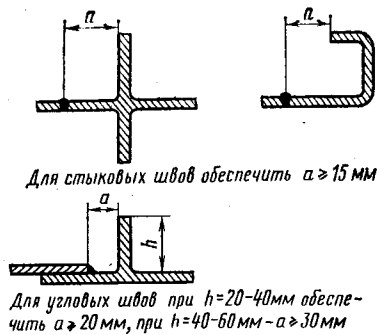


Рис. 1.1.8. Пример конструктивного оформления сварного соединения с выступающими элементами, обеспечивающего выполнение сварки.

сирующие «усадки», «утяжки» по дистанциям, получаемые при сварке отсеков (рис. 1.1.9);

— ограничивать применение перекрещивающихся и близко расположенных сварных швов, так как большое скопление сварных соединений в малом объеме ухудшает работоспособность конструкции и снижает ее точность;

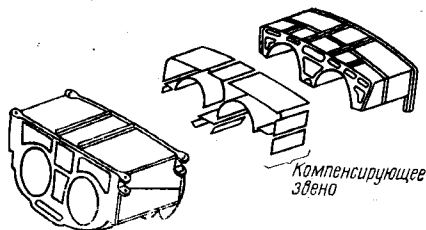


Рис. 1.1.9. Схема технологического членения отсека фюзеляжа с компенсирующим звеном.

— в конструкциях со швами, выполненными плавлением и контактной сваркой, обеспечивать возможность сварки швов плавлением в первую очередь;

— отделять сварные отсеки от клепанных, обеспечивая возможность создания специализированных сборочных цехов;

— в конструкциях, где наряду с точечной сваркой применяется клепка, применять прессовую клепку. Если это невозможно, ударную клепку производить до точечной сварки.

ПАНЕЛИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ, ОТСЕКОВ И СЕКЦИЙ

Под панелированием понимается технологическое членение агрегатов, отсеков и секций на сборные или монолитные панели (рис. 1.1.10).

Сборные панели состоят из обшивки и силовых элементов каркаса. Монолитные панели представляют собой монолитные детали — литые, прессованные, катанные, локально-штампованные и др.

При разработке схемы панелирования агрегатов необходимо учитывать:

— сортамент листов, прессованных панелей и катаных плит (длину и ширину), поставляемых промышленностью;

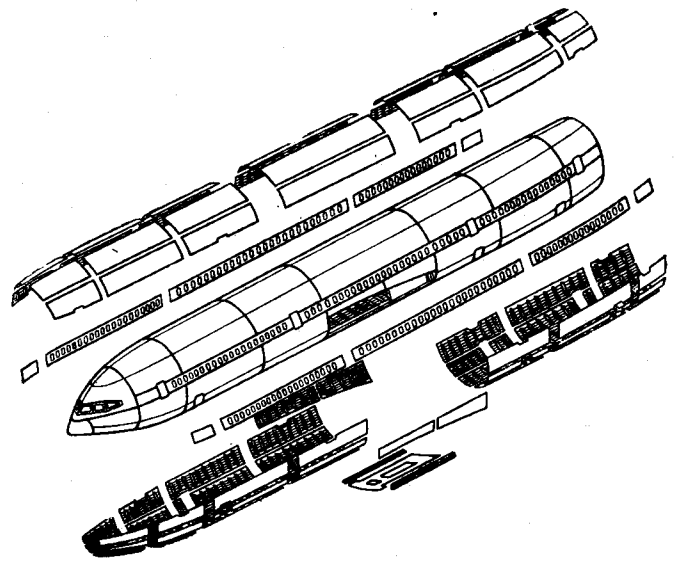


Рис. 1.1.10. Членение фюзеляжа клепаной конструкции на панели.

— характеристики металлорежущего и заготовительно-штамповочного оборудования (фрезерного, гибочного, обтяжного и др.);

— характеристики оборудования для выполнения клепанных и сварных соединений (СЗУ, прессы, сверлильно-клепальные автоматы, сварочные машины и автоматы и др.).

Определение габаритных размеров панелей — первая задача при выборе схемы панелирования. Второй задачей является определение состава элементов внутреннего силового набора, вынесенного на обшивку.

Для агрегатов, имеющих сборные панели, может быть несколько вариантов решения этой задачи (рис. 1.1.11, 1.1.12).

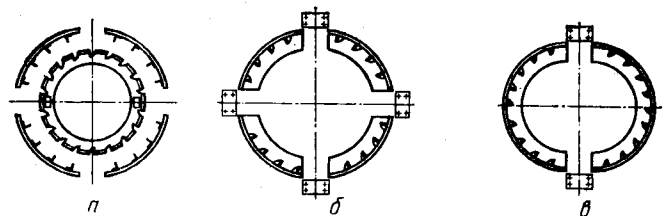


Рис. 1.1.11. Варианты панелирования фюзеляжа:

а — панели из обшивки и стрингеров; б — панели из обшивки, стрингеров и частей шпангоутов; в — панели из обшивки, стрингеров и половинок шпангоутов.

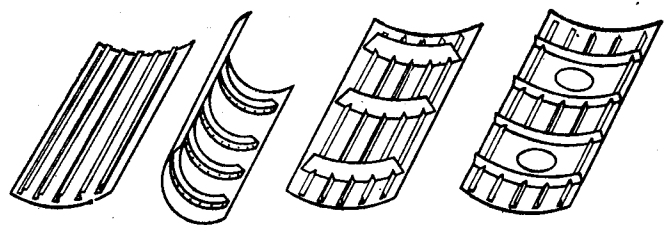


Рис. 1.1.12. Типовые панели фюзеляжа.

В случае членения агрегатов на панели, включающие только обшивку и стрингеры, существенно ухудшаются условия механизации процессов выполнения соединений панелей со шпангоутами и нервюрами при сборке агрегата.

Эффективность варианта панелирования, при котором панели содержат большое количество поясов силовых шпангоутов или нервюр, снижается из-за трудоемкой стыковки этих элементов при сборке агрегата.

Наилучшие технико-экономические показатели во многих случаях обеспечиваются при членении агрегатов на панели, включающие обшивку, стрингеры, части несильных шпангоутов или нервюр.

Выбор оптимальной схемы панелирования в каждом конкретном случае должен производиться путем комплексного расчета основных технико-экономических показателей производства (уровень механизации, трудоемкость, затраты на оснастку) по каждому варианту.

Одним из основных показателей технологичности агрегата является коэффициент панелирования K_{Π} , который определяется отношением панелированной площади $S_{\text{пан}}$ ко всей его площади $S_{\text{агр}}$,

$$K_{\Pi} = \frac{S_{\text{пан}}}{S_{\text{агр}}}.$$

Этот коэффициент должен стремиться к единице. Агрегат полностью панелирован, если $K_{\Pi} = 1$.

Количество панелей, на которое расчленяется агрегат, оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели производства, от этого зависят изменение фронта работ, сложность и количество сборочной оснастки, производственные площади, производительность труда при выполнении сборочных и монтажных работ, трудоемкость стапельных работ.

На рис. 1.1.13 приведен график изменения коэффициента относительной трудоемкости β_i при различных условиях сборки в зависимости от числа клепаных панелей m . Под коэффициентом относительной трудоемкости понимается отношение трудоемкости расчлененной конструкции к трудоемкости нерасчлененной конструкции.

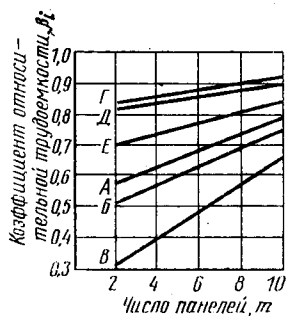


Рис. 1.1.13. График изменения коэффициента относительной трудоемкости для различных схем сборки.

График составлен исходя из следующих условий:

- диаметры секций приняты равными 1—4 м;
- соотношение сборочно-клепальных и монтажных работ для нерасчлененной конструкции 6:4 (60% от общей трудоемкости составляют сборочно-клепальные работы и 40% — монтажные);
- монтажные работы выполняются вручную;

— условия труда как ручного, так и механизированного наилучшие;

- потери труда не учитываются;
- фронт работ всегда наибольший из возможных;
- полная взаимозаменяемость деталей и узлов;
- применение следующих схем сборки:

А — производится одновременное выполнение клепаных соединений пневматическим инструментом на всех панелях, на которые расчленена секция; параллельно на панелях выполняются все монтажные работы, затем из панелей собирается секция;

Б — отличается от схемы А применением прессовой групповой клепки при соединении обшивки со стрингерами. Вся остальная клепка осуществляется вручную;

В — предусматривается полная механизация выполнения соединений всех элементов продольного и поперечного набора с обшивкой. Монтажные работы выполняются на панелях;

Г — отличается от схемы А тем, что монтажные работы выполняются в секции после ее сборки из панелей;

Д — отличается от схемы Б тем, что монтажные работы выполняются в секции;

Е — все клепаные соединения выполняются с помощью автомата, а монтажные работы ведутся в секции.

Анализ графика, приведенного на рис. 1.1.13, позволяет сделать следующие выводы:

— членение секций на панели всегда приводит к снижению трудоемкости, тем больше, чем совершеннее процесс выполнения клепаных соединений, чем больше монтажей устанавливается на панелях и чем меньше объем стыковочных работ;

— увеличение числа панелей приводит к возрастанию β_i , что указывает на повышение трудоемкости стыковочных работ при сборке панелированной секции, хотя трудоемкость сборки панелей при этом снижается.

Для агрегатов, состоящих из монолитных панелей и отдельных монолитных узлов каркаса, схема панелирования определяется стыками монолитных панелей, соединяемых между собой и с деталями каркаса.

При панелировании конструкций сварных агрегатов могут быть применены три варианта членения:

- панельное;
- секционное;
- комбинированное.

При панельном варианте предусматривается радиальное членение оболочки с поперечными силовыми элементами конструкции (рис. 1.1.14) и обеспечивается широкий фронт работ в условиях свободных подходов в зону выполнения соединений. Однако, этот вариант имеет ряд недостатков:

— невозможность непрерывного процесса сварки швов главного направления при переменной толщине полок поперечных силовых элементов;

— наличие поперечных силовых элементов на панелях резко увеличивает деформации узла в результате сварки;

— высокая трудоемкость подгонки продольных стыков большой длины.

В целом этот вариант нерационален и может быть применен только в исключительных случаях, при условии двустороннего подхода к сварным швам главного направления.

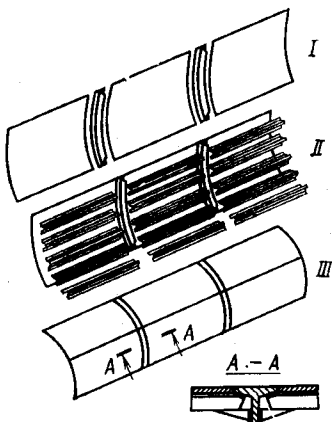


Рис. 1.1.14. Панельный вариант членения конструкций:

I — сварка силовых элементов поперечного набора с обшивкой; II — сварка продольного набора с обшивкой; III — сварка панелей в секцию.

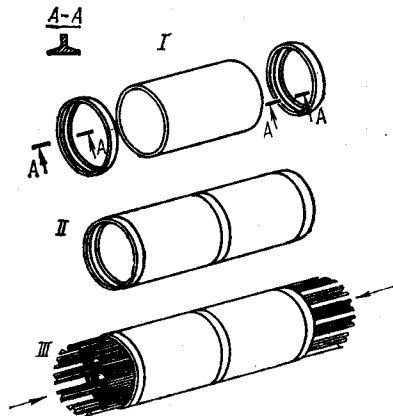


Рис. 1.1.15. Секционный вариант членения конструкций:

I — сварка силовых элементов поперечного набора с обшивкой; II — сварка отдельных секций; III — сварка продольного набора с обшивкой.

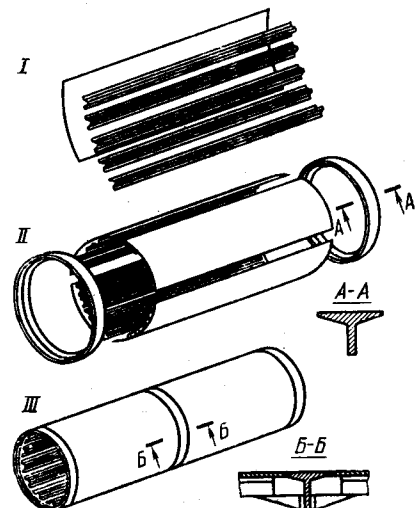


Рис. 1.1.16. Комбинированный вариант членения конструкций:

I — сварка продольного набора с обшивкой; II — сварка силовых элементов поперечного набора с обшивкой; III — сварка отдельных секций.

— не допускать в конструкции панелей сочетания различных видов соединений (рис. 1.1.17);

— все виды сварки (ТЭС, РЭС, АрДЭС и т. д.), применяемые при сборке панелей, должны выполняться на серийном оборудовании;

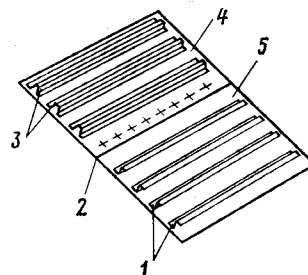


Рис. 1.1.17. Пример недопустимого сочетания различных видов соединений в конструкции панелей:

1 — клепка диафрагм с обшивкой; 2 — стык панелей; 3 — ТЭС стрингеров с обшивкой; 4 — сварная панель; 5 — клепаная панель.

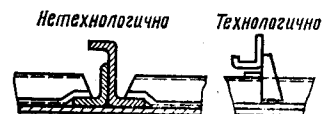


Рис. 1.1.18. Примеры конструкции панелей с защелканными заделками:

а — поперечного набора с продольным; б — соединение через «коробочки».

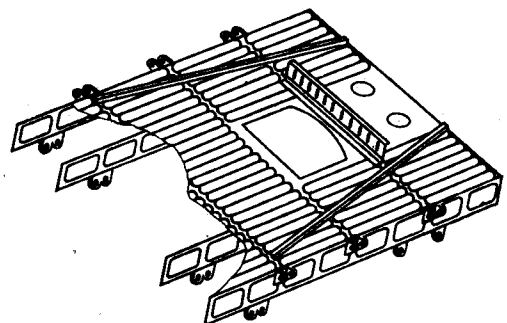


Рис. 1.1.19. Пример нетехнологичной панели с большим количеством силовых элементов и узлов стыковки.

При секционном варианте предусматривается осевое членение на секции оптимальной длины (рис. 1.1.15). При этом обеспечивается:

— снижение массы за счет использования коротких стыковочных фитингов по стрингерам;

— возможность компенсации утяжки от сварки посредством распорных устройств, позволяющих создать в обечайке предварительный натяг;

— точность периметра двух сопрягаемых элементов за счет сварки замыкающего поперечного шва на эталоне внутренней поверхности.

Недостатком данного варианта является значительная трудоемкость и увеличенный цикл сборки при последовательной ТЭС стрингеров в замкнутой обечайке.

Вариант рационален при длине секций 1,5—3,0 м и при применении высокопроизводительной ТЭС.

При комбинированном варианте предусматривается радиально-осевое членение оболочки без поперечных силовых элементов конструкции (рис. 1.1.16). При этом обеспечивается:

— широкий фронт работ при установке стрингеров;

— точный периметр при образовании секций на эталоне поверхности;

— возможность механической обработки продольных и поперечных стыков.

Недостатком варианта является увеличение массы за счет применения удлиненных стыковочных фитингов.

Комбинированный вариант наиболее рационален при небольшой жесткости панелей.

Панелирование сварных агрегатов необходимо вести с учетом следующих технологических требований:

— в пределах панели должно быть обеспечено постоянство закона формообразования обводов;

— предусматривать применение минимальной номенклатуры видов сварки и избегать разнотолщинных пакетов в соединениях одной панели;

— предусматривать возможность применения унифицированной оснастки при сборке панелей;

— не допускать конструкций панелей с защемленными заделками поперечного набора с продольным, выполнять эти соединения через «коробочки» (рис. I.1.18);

— избегать конструкций панелей с большим количеством поясов силовых элементов, несущих узлы стыковки (рис. I.1.19).

РАСПОЛОЖЕНИЕ СИЛОВОГО НАБОРА

При проектировании агрегатов и панелей необходимо учитывать следующие технологические требования к расположению силового набора:

— элементы поперечного силового набора (шпангоуты, нервюры) должны располагаться в плоскостях, перпендикулярных продольной оси фюзеляжа, мотогондолы или оси одного из лонжеронов крыла, киля или стабилизатора (рис. I.1.20, а).

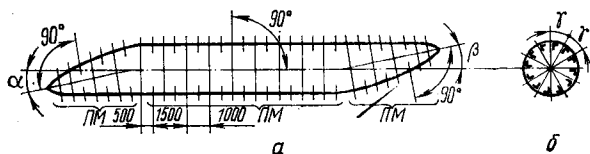


Рис. I.1.20. Схема расположения силового набора:

а — расположение деталей поперечного силового набора в плоскостях, перпендикулярных оси симметрии; б — расположение продольного силового набора.

— стрингеры и другие детали продольного силового набора фюзеляжа должны располагаться в диаметральных плоскостях. В агрегатах, ограниченных некруглыми цилиндрическими поверхностями,

детали продольного набора должны располагаться по образующим цилиндра;

— малки всех деталей поперечного силового набора должны быть постоянными вдоль контуров. Выполнение этого требования существенно упрощает обработку деталей и изготовление заготовительной и сборочной оснастки.

При расположении лонжеронов и стрингеров по линиям равных процентов хорды обеспечивается постоянство их малки, но не выполняется требование взаимной параллельности заклепочных или сварных швов. Для агрегатов с незначительным сужением в плане предпочтительнее параллельное расположение лонжеронов и стрингеров, так как в этом случае изменение малки по длине стрингеров невелико и может не учитываться при изготовлении стрингеров;

— в агрегатах, имеющих прямолинейные образующие, но состоящих из цилиндрических и конических секций, шпангоут необходимо располагать на стыке в цилиндрической части секции;

— при выборе расстояний между элементами силового набора необходимо обеспечить свободные подходы для выполнения соединений механизированным инструментом или высокопроизводительным оборудованием;

— расстояние между последовательными элементами поперечного набора должно быть одинаковым и кратным 50. Постоянство и кратность расстояний между всеми шпангоутами (или нервюрами) упрощает монтаж сборочных приспособлений с использованием плаз-кондуктора и инструментального стенда;

— углы между смежными диаметрными плоскостями, в которых расположены стрингеры, должны быть равны между собой (рис. I.1.20, б).

Расположение стрингеров с равными угловыми шагами позволяет собирать панели в групповых стапелях без сменных рубильников.

Глава 2. КОНСТРУКТИВНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАЗЪЕМЫ

При проектировании конструктивно-эксплуатационных разъемов (КЭР) должны быть обеспечены требования взаимозаменяемости агрегатов и повышения производительности труда.

Взаимозаменяемость агрегатов по КЭР является важнейшей составной частью технологичности конструкции самолета. Под взаимозаменяемостью понимается свойство конструкции агрегата (отсека), позволяющее производить его сборку и замену при ремонте без выполнения подгоночных работ по разъемам в пределах допусков на геометрические, механические и физико-химические параметры. При высокой степени взаимозаменяемости агрегатов значительно снижаются трудовые и материальные затраты, повышается качество сборки, становится возможным внедрение прогрессивных методов производства.

При проектировании КЭР необходимо руковод-

ствоваться тем, что уровень их взаимозаменяемости определяется:

— видом разъема (фланцевый, ушковый, телескопический, ленточный, шарнирный, шлицевый, цапфовый);

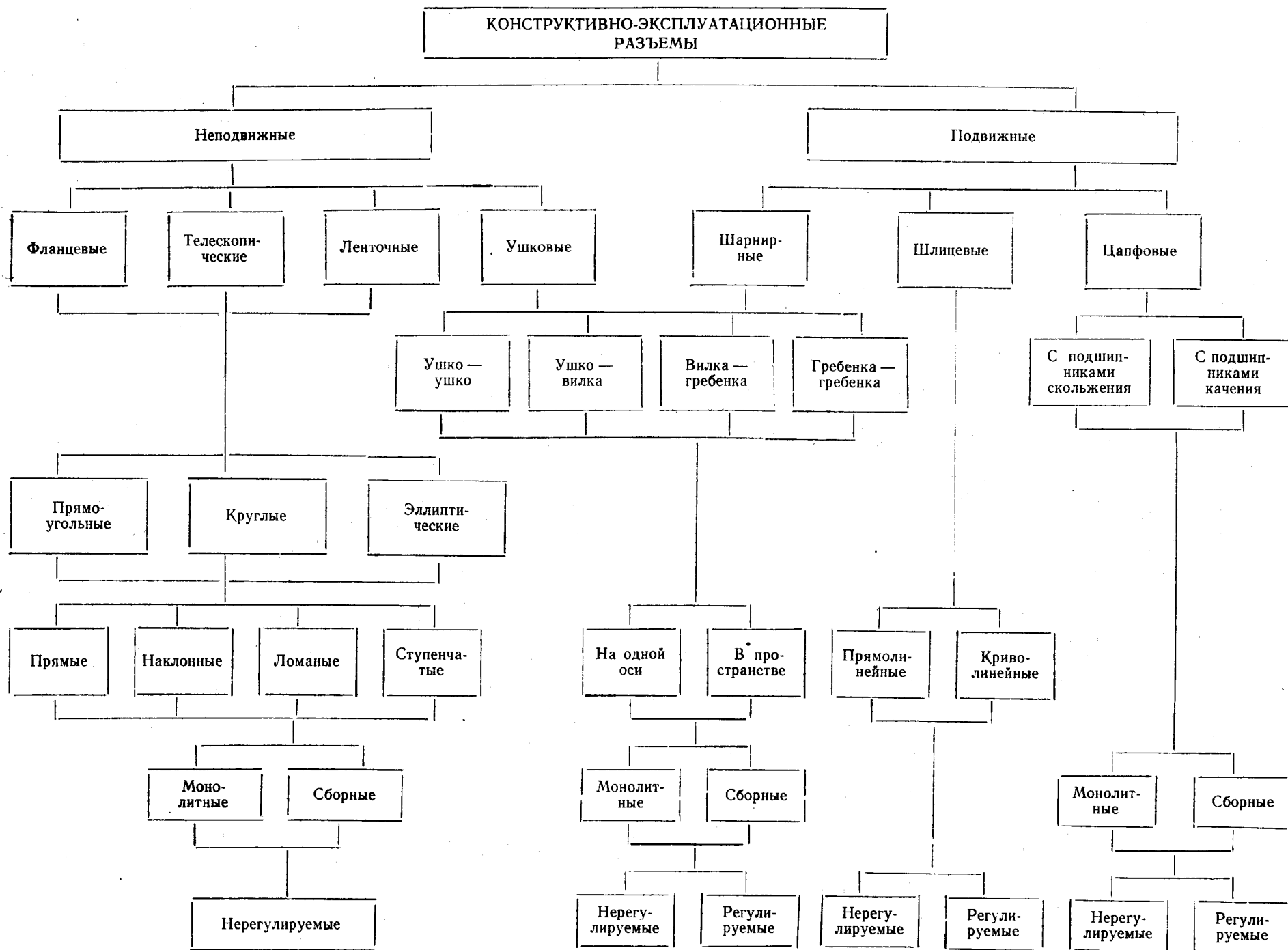
— формой контура стыкуемых агрегатов (круглые, прямоугольные, эллиптические);

— расположением плоскости разъема (прямые, наклонные, ломаные, ступенчатые);

— возможностью регулирования положения элементов разъема. Классификация КЭР приведена на схеме.

Выбор оптимального варианта конструкции разъема необходимо производить на основании технико-экономических расчетов по каждому варианту. В то же время при проектировании разъемов следует руководствоваться общими требованиями к конструкциям разъемов, направленными на обеспечение их взаимозаменяемости и достижение высоких технико-экономических показателей.

Классификация конструктивно-эксплуатационных разъемов



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАСПОЛОЖЕНИЮ КОНСТРУКТИВНО- ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАЗЪЕМОВ

Расположение КЭР определяет членение самолета на агрегаты и отсеки. Основной критерий рациональности расположения КЭР — эффективность производства, возможность транспортирования агрегатов и удобство обслуживания самолета в эксплуатации. От выбора расположения КЭР зависят:

- габаритные размеры агрегатов и отсеков;
- возможность объединения сборных частей и деталей в агрегаты и отсеки, характеризующиеся единой спецификой технологических процессов сборки и испытаний.

В отдельные отсеки необходимо выделять герметические кабины, отсеки оборудования в целях обеспечения возможности подачи их на сборку загерметизированными, испытанными, с законченными монтажами. Силовые отсеки агрегатов также рекомендуется выделять в отдельные под сборки для обеспечения выполнения всех стыковочных и доводочных работ в комплектовочных стендах механосборочного цеха;

- способы обеспечения взаимозаменяемости агрегатов и отсеков.

Так, необходимо КЭР располагать в плоскостях, перпендикулярных оси фюзеляжа или плоскости хорд крыла, а оси рельсов и узлов механизации крыла — в плоскостях, параллельных плоскости симметрии самолета и перпендикулярных плоскости хорд крыла. В этом случае обеспечивается наибольшая простота контрольно-эталонной оснастки, сборочных и разделочных приспособлений.

Все средства обеспечения взаимозаменяемости существенно усложняются, если КЭР выполнен неплоским, поэтому неплоские КЭР нетехнологичны.

Обеспечение взаимозаменяемости становится крайне сложной задачей, если конструкция преду-

введением размерных компенсаторов, но это обычно утяжеляет конструкцию.

Аналогичные требования предъявляются и к расположению узлов навески рулей, элеронов, закрылков, щитков, створок, люков и т. п. Узлы их навески должны устанавливаться на одном агрегате, в контур которого они вписываются (рис. 1.2.2).

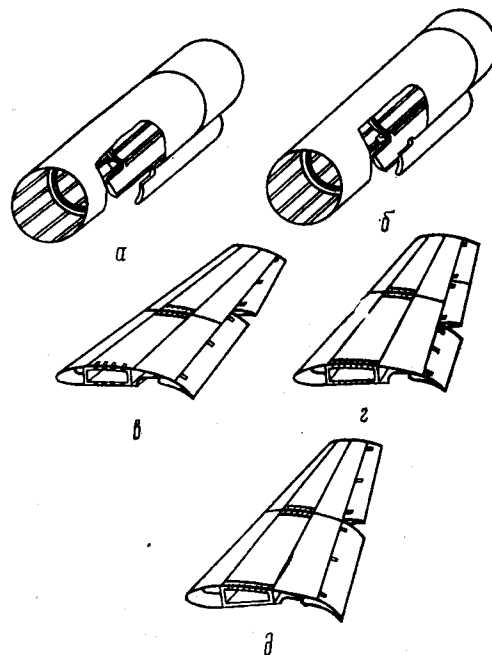


Рис. 1.2.2. Примеры подвижных КЭР:

а — нетехнологично, створки люка стыкуются с двумя отсеками; б — технологично, створки люка стыкуются с одним отсеком; в — нетехнологично, закрылок стыкуется с двумя частями консоли крыла; г — нетехнологично, элерон стыкуется с двумя частями консоли крыла; д — технологично, закрылок и элерон стыкуются отдельно с корневой и концевой частями консоли крыла.

Расположение КЭР должно обеспечивать свободные подходы для механизированной разделки отверстий под стыковые болты и обработки посадочных мест в узлах разъема.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНО- ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАЗЪЕМОВ

Разъем можно считать технологичным, если он обеспечивает возможность качественной стыковки агрегатов (отсеков)

- без применения специальных приспособлений, определяющих взаимное расположение агрегатов в пространстве;

- без подгонки или совместной обработки сопрягаемых поверхностей агрегатов;

- при наличии свободных подходов, позволяющих механизировать процессы разделки соединяемых поверхностей и постановки крепежных элементов.

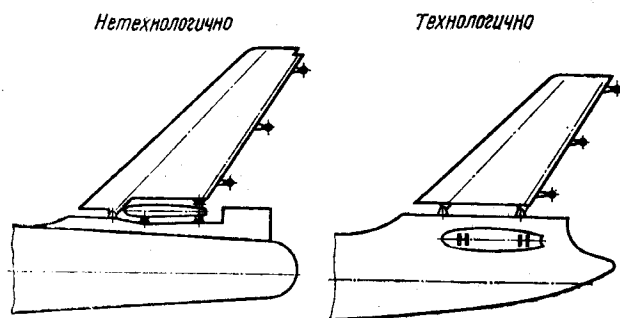


Рис. 1.2.1. Примеры выполнения КЭР киля с фюзеляжем.

считывает соединение более двух агрегатов или секций с одним КЭР. На рис. 1.2.1 показаны примеры КЭР киля с фюзеляжем.

При соединении двух агрегатов через третий нарушается расположение их стыковочных баз. В отдельных случаях стыковка может быть облегчена

Основным фактором, определяющим технологичность разъема, является схема базирования.

В общем случае всякое твердое тело (деталь, узел, агрегат), рассматриваемое в системе трех взаимно перпендикулярных осей, может иметь шесть степеней свободы: три перемещения и три поворота относительно осей координат.

При стыковке двух агрегатов (отсеков) определенность их взаимного положения обеспечивается наличием связей, ограничивающих возможные перемещения одного агрегата относительно другого. Для неподвижных разъемов это достигается лишением тела шести степеней свободы, для подвижных — пяти и меньше, в зависимости от функционального назначения агрегата.

Таким образом, чтобы устанавливаемый агрегат был неподвижен относительно ответного агрегата, необходимо иметь шесть опорных точек, образующих сборочную базу со следующими свойствами:

— поверхности, линии или точки базовых элементов должны быть изготовлены с точностью, обеспечивающей требуемую точность положения устанавливаемого агрегата относительно другого;

— базовые элементы должны обеспечивать возможность фиксации устанавливаемого агрегата.

В качестве примера рассмотрим базирование секций фюзеляжа с фланцевым разъемом (рис. 1.2.3).

Болт 8, соединяющий агрегаты через круглое отверстие в приливе 6 и овальное отверстие в приливе 3 (сеч. Б—Б на рис. 1.2.3), лишает агрегаты шестой степени свободы — возможности поворота вокруг оси болта 7.

Все остальные болты 10, соединяющие агрегаты по разъему, устанавливаются в отверстия с зазором по диаметру (сеч. В—В на рис. 1.2.3).

Контакт между плоскостями Р и Q разъема агрегатов обеспечивается заполнением зазора между ними специально предусмотренными компенсаторами 9, обуславливающими силовое замыкание плоскостей разъема без особых требований к точности обработки стыка каждого агрегата.

Рассмотренный вид разъема обеспечивает точную координацию агрегатов без применения стыковочных приспособлений и совместной обработки элементов разъема.

Введение в конструкцию разъема дополнительных элементов базирования делает его статически неопределимым и резко снижает технологичность, так как неизбежно приводит к необходимости выполнения подгоночных операций или к совместной разделке отверстий.

Разъем становится также статически неопределимым, если заменить овальное отверстие в приливе 3 или любое другое крепежное отверстие (см. рис. 1.2.3) классным. Соединение агрегатов по такому разъему без совместной разделки отверстий выполнить невозможно, так как для этого требуется выдержать расстояние между отверстиями под болты 7 и 8 с исключительно высокой точностью, не выполнимой в условиях реального производства. Кроме того, для точной совместной разделки классного отверстия в приливах требуется установка обоих агрегатов в специальный стыковочный стенд. Необходимость совместной разделки отверстий усложняет стыковку не только в производстве, но и при техническом обслуживании в эксплуатации и при ремонте.

Таким образом, нарушение правила шести точек базирования крайне нежелательно.

В практике проектирования разъемов в качестве размерного компенсатора широко используют способность конструкций деформироваться под нагрузкой. Эффект силового замыкания номинально сопряженных, но фактически несовпадающих поверхностей разъема путем их принудительного упругого деформирования при стыковке известен как метод сборки с упругой компенсацией. В качестве источника усилий для деформирования разъемов обычно используют средства крепежа: болты, шпильки и др.

Примером конструкции, рассчитанной на использование эффекта упругой компенсации, может служить фланцевый разъем, схематично показанный на рис. 1.2.4. Здесь приливы и компенсаторы, характерные для варианта разъема, приведенного на рис. 1.2.3, не предусмотрены. Предполагается, что незначительные местные зазоры между плоскостями разъема при стыковке будут устранены в результате ограниченного деформирования поясов торцовых шпангоутов при затяжке болтов, соединяющих агрегаты. Такая конструкция не менее технологична, чем ранее рассмотренная. Важно лишь, чтобы при проектировании разъема эффект

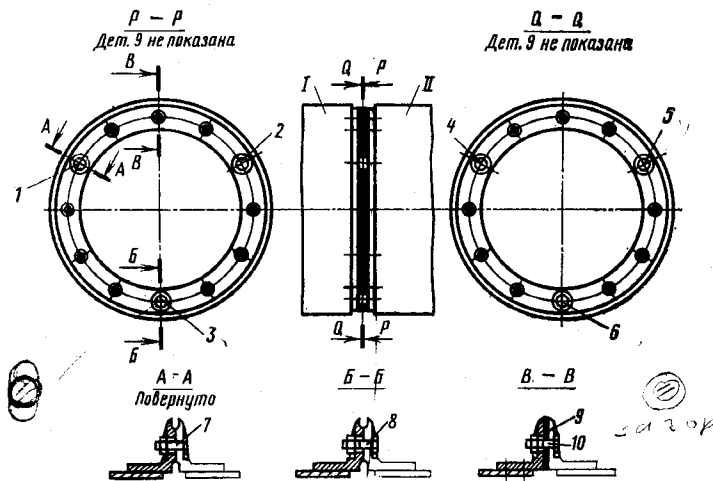


Рис. 1.2.3. Пример конструктивного выполнения фланцевого разъема по правилу базирования на шесть точек: I, II — секции фюзеляжа; 1, 2, 3, 4, 5, 6 — приливы, реализующие три базовые точки; 7 — классный болт, реализующий две базовые точки; 8 — болт в овальном отверстии, реализующий одну базовую точку; 9 — компенсирующие прокладки; 10 — болт с зазором, не создающий избыточных связей.

При стыковке каждый из агрегатов лишается шести степеней свободы. Три базовые точки на стыке каждого из агрегатов оформлены приливами 1—6. Контакт по этим приливам лишает каждый из агрегатов трех степеней свободы. Агрегаты соединяются классным болтом 7 с неподвижной посадкой по отверстиям в приливах 1 и 5. Этот болт (сеч. А—А на рис. 1.2.3) лишает каждый из стыкуемых агрегатов еще двух степеней свободы — возможности перемещения в двух взаимно перпендикулярных направлениях в плоскости разъема.

упругой компенсации был «заложен в конструкцию». Жесткость разъемов должна быть выбрана такой, чтобы при силовом замыкании их плоскостей усилия затяжки болтов оказались достаточными, и при деформировании разъема в элементах конструкции не возникали чрезмерные внутренние напряжения.

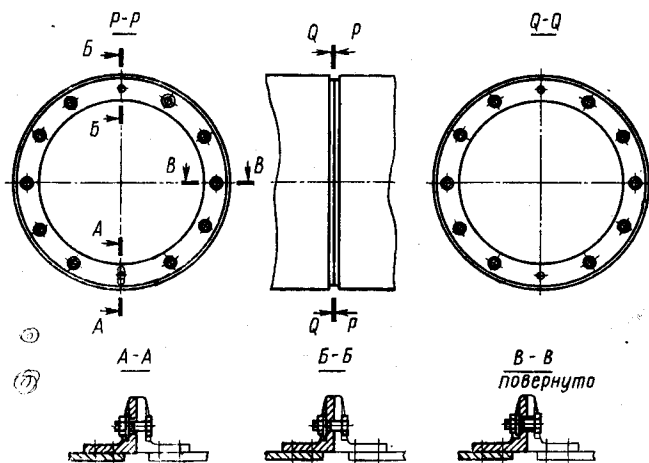


Рис. 1.2.4. Пример разъема, предусматривающий упругую компенсацию.

Малая величина погрешности является характерной особенностью упругой компенсации, отличающей ее от конструктивных компенсаторов. Поэтому упругая компенсация применима только в тех случаях, когда гарантированы незначительные зазоры между соответствующими поверхностями разъемов.

Эффект упругой компенсации можно, например, использовать в тех случаях, когда элементы разъема могут быть механически обработаны после сборки агрегата при одной установке инструмента без изменения позиции агрегата. В этих случаях обеспечивается кратчайшая технологическая цепь, определяющая положение обрабатываемых поверхностей разъема относительно его базовых точек и, следовательно, минимальная производственная погрешность.

В целом фланцевые разъемы относятся к числу наиболее технологичных. Многовариантность конструкций фланцевых разъемов определяется общей тенденцией максимального снижения массы при проектировании самолета. С этой целью массовые характеристики разъема стремятся приблизить к массовым характеристикам технологического

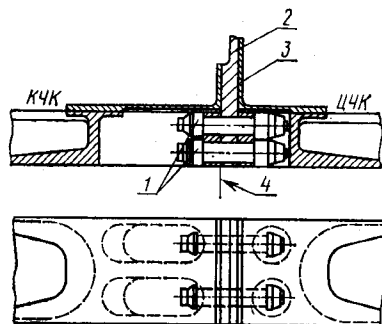


Рис. 1.2.5. Фланцевый разъем консольной и центральной частей крыла:

1 — стыковые болты; 2 — стенки нервюры; 3 — профиль герметизации; 4 — плоскость разъема.

стыка. В этом отношении перспективным является фланцевый разъем центральной части крыла (ЦЧК) с консольной частью крыла (КЧК), схема-

тично показанный на рис. 1.2.5. В отличие от традиционного фланцевого разъема этот разъем выполняется без профилей разъема путем обработки законцовок панелей из исходных полуфабрикатов.

Освоение металлургической промышленностью процесса изготовления этих панелей позволило создать такой разъем, который является равноценным по массе технологическому стыку и не усложняет производство, как это имеет место при изготовлении агрегата без КЭР, когда технологический стык ЦЧК и КЧК выполнен, как показано на рис. 1.2.6. Стыковка ЦЧК с КЧК в случае применения разъема, показанного на рис. 1.2.5, осуществляется за счет двухрядного болтового соединения по верхней и нижней дужкам и стойкам лонжеронов через стенку нервюры.

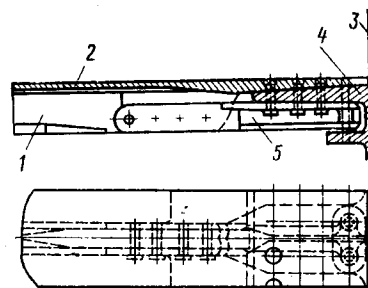


Рис. 1.2.6. Технологический стык консольной и центральной частей крыла без КЭР:

1 — стрингер; 2 — панель КЧК; 3 — ось стыковой нервюры; 4 — пояс стыковой нервюры; 5 — стыковочный фитинг.

Технологические требования к конструкции этого фланцевого разъема следующие:

— стыковочные плоскости должны быть выполнены вертикально;

— диаметры отверстий в центральной и консольной частях крыла должны быть на 1 мм больше диаметра болтов (для болтов, работающих на растяжение);

— координаты стыковочных отверстий по разъему следует задавать в прямоугольной системе координат с базой от строительной плоскости крыла и осей лонжеронов;

— неплоскостность разъема должна быть не более 0,5 мм на длине 7500 мм;

— допуск на положение оси стыковочного отверстия от теоретического контура должен быть $\pm 0,5$ мм;

— колодцы под стыковочные болты на консольной части крыла следует выполнять сквозными;

— оси колодцев необходимо располагать перпендикулярно строительной плоскости агрегата;

— размеры колодцев должны обеспечивать возможность подхода к головкам болтов и гаек для выполнения тарированной затяжки;

— допуск на смещение оси окончательно разделанного колодца относительно оси гнезда под сферическую шайбу $\pm 0,5$ мм;

— допустимый суммарный односторонний зазор между головкой болта (гайки) и шайбой, между шайбой и сопрягаемой поверхностью колодца 0,15 мм;

— допускаемая чертежами ступенька между ЦЧК и КЧК после окончательной стыковки должна быть не менее 2,0 мм;

— допустимый зазор между плоскостью стенки нервюры и плоскостью разъема должен быть не более 0,5 мм до окончательной установки стыковочных болтов.

Анализ конструкции и технологии сборки крыла, стыковки его с фюзеляжем, а также имеющейся информации по отечественным и зарубежным самолетам тяжелого класса показал, что по всем показателям предлагаемый фланцевый разъем является наиболее технологичным.

Разъемы типа ухо — вилка по конструктивному оформлению весьма разнообразны. Как правило, эти разъемы накладывают на стыкуемые агрегаты значительное количество избыточных связей, а многоплоскостность не позволяет производить отработку стыковых узлов за один установ инструмент. Поэтому требуются специальные меры по повышению технологичности их конструкции.

На рис. 1.2.7 показан вариант технологичного разъема агрегатов по трем узлам типа ухо — вилка. Для того, чтобы такой разъем соответствовал требованиям правила шести точек, необходимо соединение агрегатов по узлу I выполнять классным болтом с неподвижной посадкой по плоскостям вилки и уха, а по узлу II — классным болтом через сферический подшипник в вилке при наличии зазоров между плоскостями уха и вилки. Узел II должен быть «плавающим» как в плоскости разъема, так и в перпендикулярном к этой плоскости направлении. Во многих случаях практически достаточно обеспечить перемещение узла лишь в плоскости разъема, так как неточность совпадения отверстий уха и вилки в перпендикулярном этой плоскости направлении может быть компенсирована незначи-

среднего классов. При определенных условиях эти разъемы могут также использоваться в конструкции самолетов тяжелого класса наравне с фланцевыми разъемами. Так, разъем ухо — вилка крыла

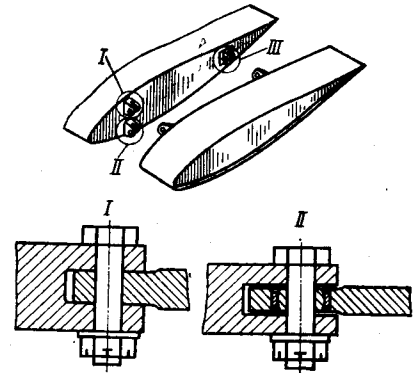


Рис. 1.2.7. Пример технологичного разъема агрегатов по трем узлам (I—III) типа ухо — вилка.

с фюзеляжем (рис. 1.2.8) представляет собой принципиально новую схему разъема крыла с фюзеляжем для самолетов тяжелого класса. По I, III и IV лонжеронам устанавливаются кронштейны типа «ухо», верхние части боковин силовых шпангоутов выполнены по форме «вилка», соединение разъема осуществляется пустотелыми болтами (наружный

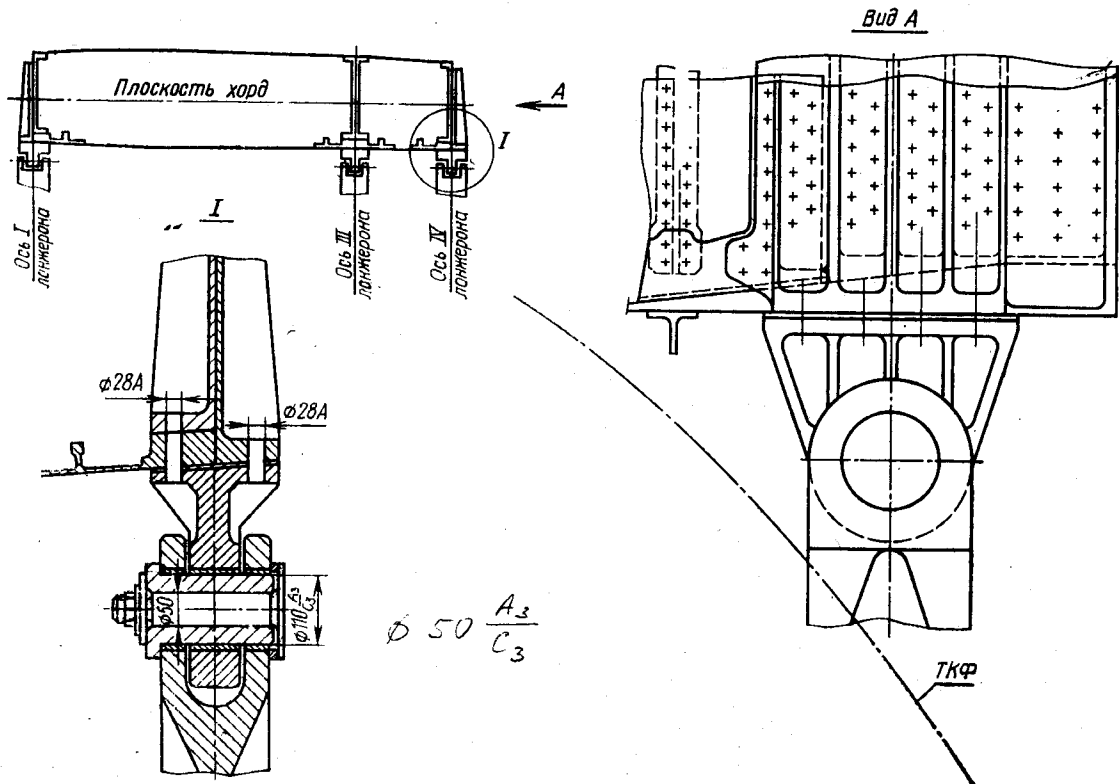


Рис. 1.2.8. Ушковый разъем крыла без КЭР с фюзеляжем.

тельным упругим деформированием элементов разъема. Узел III крепится на агрегате после стыковки.

Ушковые разъемы наиболее широко применяются в соединениях агрегатов самолетов легкого и

диаметр — 110C₃, внутренний — 50A₃) и стяжными болтами диаметром 50C₃.

Кронштейны «ухо» крепятся к нижней панели центральной части крыла болтами диаметром 28С, Пл. Между кронштейном и панелью установ-

ливаются прокладки. Отверстия под болты упрочняются.

Технологические требования к конструкции этого разъема следующие:

— в местах установки кронштейна «ухо» необходимо обеспечить плоские площадки на панелях ЦЧК;

— в плоскостях сопряжения элементов ухо — вилка следует предусмотреть гарантированные зазоры;

— для обеспечения соосности соединения ухо — вилка в конструкции силовых шпангоутов необходимо предусмотреть компенсирующие прокладки.

Рассмотренная конструкция разъема крыла и фюзеляжа позволяет:

— обеспечить герметичность кессона ЦЧК до стыковки с фюзеляжем;

— производить сборку силового отсека фюзеляжа в стапеле без центроплана, обеспечивая фиксацию боковин стыковых шпангоутов посредством оснастки;

— обеспечить заданное качество стыковочных работ за счет механизированной разделки стыковых отверстий.

Механизированная разделка этих отверстий требует оснащения стапелей специальными площадками для установки силовых головок типа ГС-2М на большой высоте (около 10 м), что создает определенные трудности в производстве.

Телескопические разъемы могут быть технологичными лишь в том случае, если они обладают достаточной жесткостью в радиальном направлении и по своему конструктивному оформлению и габаритным размерам допускают обточку и торцовку после сборки на станках токарного типа. Таким образом, взаимное положение соединяемых агрегатов будет зависеть от точности обработки базовых поверхностей. Подходы к стыковым болтам (гайкам) в телескопических разъемах могут быть внешними и внутренними. При внутреннем подходе к болтам конструкция разъема менее технологична, чем при внешнем. Один из вариантов технологического телескопического разъема показан на рис. 1.2.9.

Ленточные разъемы (рис. 1.2.10) можно представить как сдвоенные телескопические разъемы. Они обычно нетехнологичны. Для этих разъемов характерны высокие требования к точности увязки агрегатов по обводам. При наличии ступеньки стыковые ленты в процессе эксплуатации быстро разрушаются. Сборочными базами являются отверстия стыковых болтов и поверхности агрегатов. Так как положение базовых поверхностей не регулируется, при установке в процессе сборки или замене агрегатов в эксплуатации требуется совместная разделка отверстий под стыковые болты.

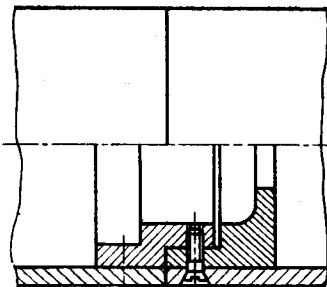


Рис. 1.2.9. Телескопический разъем.

Шарнирные разъемы конструктивно выполняются по схеме разъема ухо — вилка и отличаются от неподвижных ушковых разъемов тем, что лишают соединяемые агрегаты не шести, а пяти степеней свободы. На одну степень свободы (вращение вокруг оси) разъем не должен накладывать связей. Поэтому приведенные выше рекомендации по проектированию технологичных разъемов типа ухо — вилка остаются в силе и для шарнирных разъемов, но с заменой шести базовых точек пятью.

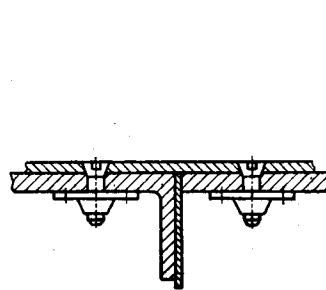


Рис. 1.2.10. Ленточный разъем.

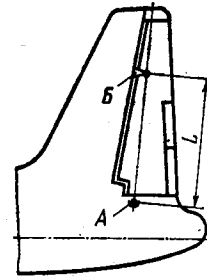


Рис. 1.2.11. Шарнирный разъем с двумя узлами.

Схема технологичного шарнирного разъема приведена на рис. 1.2.11. Узел А (самоустанавливающийся сферический подшипник) лишает руль трех степеней свободы — возможности поступательного перемещения вдоль трех осей координат. Поэтому назначение узла Б сводится к ограничению двух оставшихся степеней свободы — возможности поворота вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Если этот узел выполнить в виде обычной пары ухо — вилка (см. рис. 1.2.7, узел I), то он наложит на агрегат пять связей, три из которых окажутся избыточными, и совместная разделка узлов будет неизбежна. Поэтому в конструкцию узла должен быть введен компенсатор, снимающий с агрегата три избыточные связи. Пример такого узла показан на рис. 1.2.7 (узел II). Конструктивный размерный компенсатор (сферический вкладыш в сочетании с зазором) в этом узле не только устраняет необходимость подгонки при сборке, но и компенсирует температурное изменение размера L (см. рис. 1.2.11) в эксплуатации.

Рассмотренный разъем предусматривает соединение агрегатов по двум шарнирным узлам. Необходимость обеспечения высокой жесткости часто требует применения многоузловых шарнирных разъемов (рис. 1.2.12). Введение каждого дополнительного узла накладывает на агрегат избыточные связи, поэтому совместная разделка становится практически неизбежной. Обычно в таких случаях избыточные узлы проектируют по схеме, показанной на рис. 1.2.12 (узел В). Агрегат при стыковке устанавливают по узлам А и Б, после чего совместно разделяют отверстия I в остальных узлах.

Шлицевые разъемы широко применяются для соединения фонаря кабины летчика с фюзеляжем, закрылков и предкрылков с крылом, установки дверей и кресел на рельсах.

Работоспособность шлицевых соединений зависит от величины зазоров между сопрягаемыми поверхностями.

Наличие производственных погрешностей изготовления деталей разъема и сборки агрегатов значительно усложняет обеспечение требуемых зазоров в случае нерегулируемых шлицевых разъемов. Эта задача наиболее актуальна при сборке и отработке агрегатов механизации крыла тяжелых самолетов, где наиболее широкое применение находят шлицевые соединения с криволинейными направляющими, а большие габаритные размеры агрегатов еще более затрудняют решение вопросов

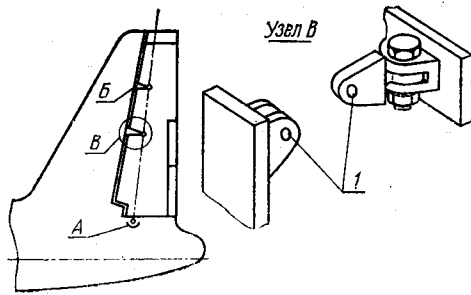


Рис. 1.2.12. Шарнирный разъем с тремя узлами (А, Б, В):

1 — отверстия под соединительный болт.

взаимозаменяемости и обеспечения вписываемости контуров соединяемых агрегатов. Конструкция агрегатов механизации крыла тяжелых самолетов должна проектироваться с учетом применения такой схемы их сборки, при которой они поступают для монтажа с установленными узлами навески, а функциональные зазоры и вписываемость контуров обеспечиваются только за счет предусмотренных конструкцией регулировочных элементов без применения операций механообработки. Так, в конструкции основного звена закрылки требуемый зазор 0,25—0,4 мм между роликами каретки и рельсом обеспечивается изменением положения роликов посредством эксцентриковых втулок (рис. 1.2.13 а), зазор 0,2—0,6 мм между роликами и торцами полок рельсов обеспечивается регулировочными шайбами (рис. 1.2.13 б). Вписываемость

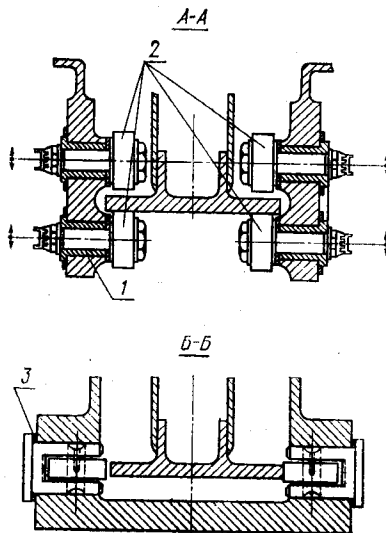


Рис. 1.2.13. Конструкция основного звена закрылки:

1 — эксцентриковая втулка; 2 — ролики; 3 — шайба.

закрылка в контур крыла достигается путем применения регулировочных шайб, позволяющих изменить положение основного звена закрылки по вертикали в пределах 1,5—2,0 мм. Угловая компенсация положения основного звена производится смещением заднего узла кардана по рифленой поверхности.

Метод регулирования размера замыкающего звена, рассмотренный на примере закрылки, следует широко применять в узлах разъемов отсеков и агрегатов самолетов. Замыкающее звено должно конструктивно выполняться в виде различного рода компенсаторов, эксцентриков, карданов, плавающих анкерных гаек, прокладок и т. д.

Компенсаторы, широкое применение которых необходимо предусматривать при проектировании агрегатов, позволяют не только компенсировать линейные и угловые погрешности размеров, но и обеспечивают рациональное построение процесса сборки. Примером этого может служить конструкция разъема стабилизатора подвесного бака (рис. 1.2.14). Замена стяжного болта и переходной втулки одной деталью — резьбовым компенсатором позволяет осуществлять простое регулирование размера замыкающего звена Б и выполнять соединение силовой диафрагмы с профилем на этапе узловой сборки, а не в отсеке в условиях стесненных подходов, как это имеет место в варианте I.

Применение компенсаторов, как правило, ведет к некоторому ухудшению массовых характеристик разъема.

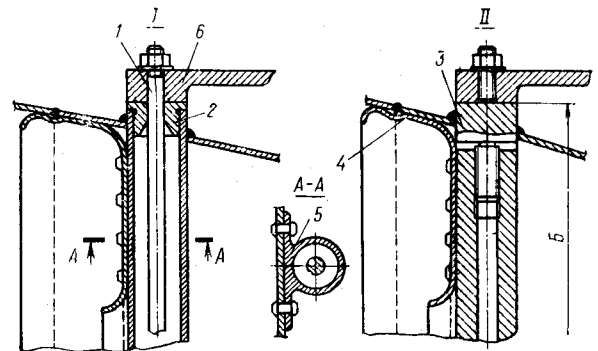


Рис. 1.2.14. Применение резьбового компенсатора в конструкции разъема стабилизатора подвесного бака:

I — нетехнологично; II — технологично; 1 — стяжной болт; 2 — переходная втулка; 3 — резьбовой компенсатор; 4 — силовая диафрагма; 5 — профиль; 6 — кронштейн крепления стабилизатора.

В конструкциях, где требование массы преобладает над другими требованиями или по каким-то иным соображениям не могут быть использованы компенсаторы, в чертежах необходимо предусматривать расширенные допуски на изготовление элементов разъема для доработки замыкающего звена размерной цепи до требуемого размера.

Припуск на доработку определяется как путем расчета размерных цепей, так и путем обработки статистических данных. В ряде случаев более целесообразен второй способ определения припуска на доработку, например, в сварных конструкциях, где большие остаточные напряжения приводят к сложной деформируемому состоянию, когда учесть в рас-

четах все параметры с достаточной для практики точностью не представляется возможным. Так, на основании обработки статистических данных определены припуски на доработку основных (рис. 1.2.15) и вспомогательных (рис. 1.2.16) стыковых узлов крыла с отсеком фюзеляжа сварной конструкции длиной до 10 м.

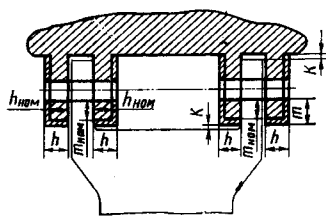


Рис. 1.2.15. Схема расположения припусков для основного узла разъема крыла с фюзеляжем ($h = h_{\text{ном}} + 5$ мм; $m = m_{\text{ном}} + 6$ мм; $k \geq 8$ мм).

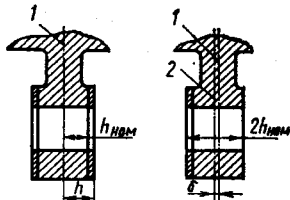


Рис. 1.2.16. Схема расположения припусков для вспомогательного узла разъема крыла с фюзеляжем ($h = h_{\text{ном}} + 6$ мм; $\delta \leq 6$ мм); 1 — ось шпангоута; 2 — ось вьшка.

Основное преимущество метода доработки замыкающего звена заключается в возможности получения высокой точности сборки, а недостаток — в необходимости специальных приспособлений для обработки элементов разъема собранного агрегата, в увеличении трудоемкости и цикла сборки за счет операций обработки.

В конструкции самолетов наряду с рассмотренными видами разъемов применяются и комбинированные, в которых агрегаты соединяются элемен-

тарными узлами из различных классификационных групп разъемов. Например, в конструкции разъема крыла (рис. 1.2.17) по верхней дужке используется фланцевое соединение, по нижней — телескопическое.

Применение в серийном производстве комбинированных разъемов связано с большими трудностями в изготовлении агрегатов и обеспечении высокой степени их взаимозаменяемости. При соединении агрегатов с такими разъемами, как правило, требуется совместная разделка отверстий под болты или регулировка взаимного положения их осей с помощью компенсаторов. Применение комбинированных разъемов ведет к усложнению технологической оснастки и увеличению ее количества, требует изготовления специальных стыковочных приспособлений.

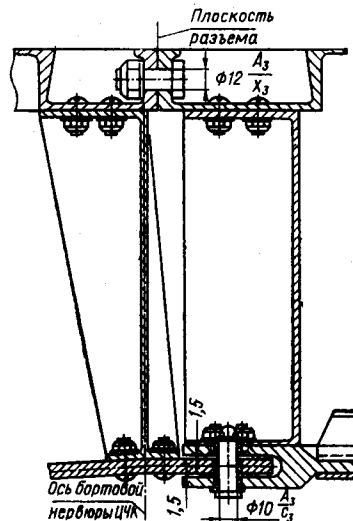


Рис. 1.2.17. Пример комбинированного разъема в соединении центральной и консольной частей крыла.

Увеличение объема подгоночных работ и снижение коэффициента взаимозаменяемости агрегатов делают комбинированные разъемы нетехнологичными.

Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УЗЛАМ, СЕКЦИЯМ, ОТСЕКАМ И АГРЕГАТАМ

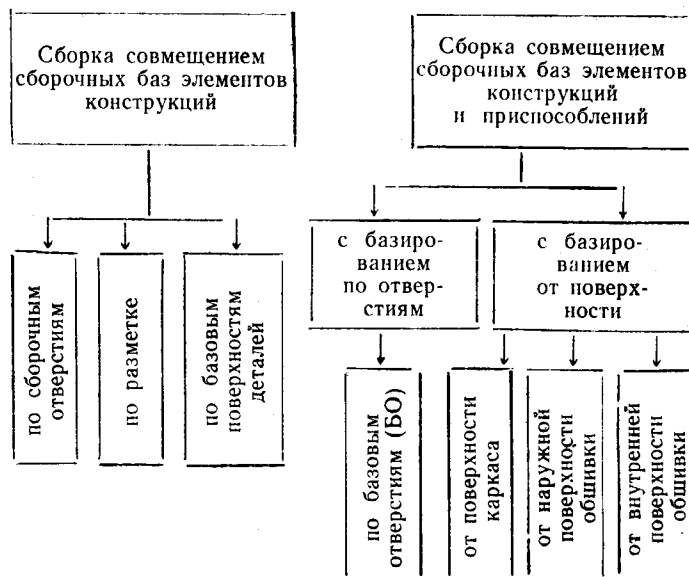
Сборка узлов, секций, отсеков и агрегатов может осуществляться различными методами. Каждый метод имеет свои характеристики точности и технико-экономические показатели. Для того, чтобы тот или иной метод сборки можно было применять в производстве конструкция под сборки должна отвечать определенным требованиям. Поэтому при проектировании сборных частей самолета конструктор должен четко ориентировать их на определенный метод сборки. Классификация применяемых методов сборки приведена ниже.

В зависимости от вида сборочных баз применяются три метода сборки совмещением сборочных баз элементов конструкций.

Сборка по сборочным отверстиям (СО) — процесс, при котором взаимное расположение собираемых деталей определяется положением сборочных отверстий, в них на период сборки вставляются фиксаторы, технологические болты или технологические заклепки с последующим окончательным соединением деталей (рис. 1.3.1).

Базирование по СО возможно, когда допуски на обводы или взаимное положение деталей больше

Классификация методов сборки



погрешностей процесса сборки. Точностные возможности метода сборки по СО в зависимости от конструктивного оформления сборных частей приведены в табл. I.3.1. Погрешность внешнего обвода при сборке по СО достигает $\pm 1,2$ мм.

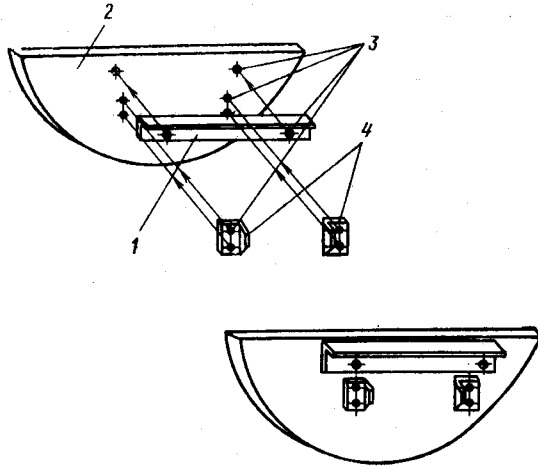


Рис. I.3.1. Пример сборки стенки по сборочным отверстиям:

1 — профиль; 2 — стенка; 3 — сборочные отверстия; 4 — кронштейны.

Таблица I.3.1

Тип под сборки	Примеры под сборки	Погрешность сборки, мм, по СО	
		обводов	взаимного положения деталей
Плоская с одной базовой деталью	Стенки шпангоутов, лонжеронов, перегородок	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$
Пространственная с малой кривизной	Панели цилиндрические и малой двойной кривизны	$\pm 1,0$	$\pm 0,6$
Пространственная со значительной кривизной	Панели двойной кривизны, обтекатели, зализы	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$

Этот метод сборки применяется для сборки нервюр и лонжеронов хвостового оперения, носков рулей высоты и направления, носков элеронов, триммеров нескоростных самолетов (до $M=0,4-0,6$). Сборку по СО можно применять при установке элементов каркаса на обшивку, по СО можно устанавливать стрингеры, подкрепляющие элементы шпангоутов, нервюр, лонжеронов, окантовки люков, подкладные листы.

Сборочные отверстия располагаются в местах установки заклепок или болтов. Диаметр СО по заклепочным швам принимают равным $2,7 A_3$, по болтовым соединениям — $5A_3$. Места расположения СО наносят на чертеж или указывают в специальных схемах. Для установки детали в сборочное положение должно быть не менее двух СО. При длине базированного элемента более 500 мм СО располагают с шагом 500—800 мм. Расстояния между СО желательно назначать кратными 50 мм, что дает возмож-

ность использовать плаз-кондуктор при изготовлении шаблонов.

Сборка по разметке — процесс, при котором взаимное положение деталей определяют по рискам, нанесенным на детали при разметке.

Метод сборки по разметке характеризуется, по сравнению со сборкой по СО, более высокой трудоемкостью, низкой точностью и взаимозаменяемостью подборок. При применении этого метода нет необходимости изготавливать комплект шаблонов для увязки СО в деталях.

Небольшие затраты на оснастку и сравнительно малый цикл подготовки производства позволяют применять указанный метод в опытных и мелкосерийном производствах для сборки плоских узлов и цилиндрических панелей.

Сборка по базовым поверхностям деталей — процесс, при котором определенность базирования деталей изделий может быть достигнута путем их сопряжения с ранее установленными деталями (рис. I.3.2).

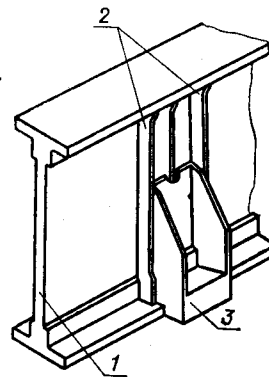


Рис. I.3.2. Пример сборки по базовым поверхностям деталей:

1 — лонжерон; 2 — стойки; 3 — фитинг.

Возможность базирования детали по базовым поверхностям деталей определяется следующими условиями:

- обеспечением заданной точности установки очередной детали взаимным положением ранее установленных деталей;
- отсутствием ограничения для приложения фиксирующей нагрузки;
- достаточной жесткостью базовых элементов и их способностью воспринимать фиксирующие и другие нагрузки, возникающие при сборке.

Точность установки детали определяется точностью сборочной базы, образованной поверхностями ранее установленных деталей. Базирование деталей по базовым поверхностям деталей можно осуществлять также путем ориентации их относительно кромок, вырезов, подсечек и т. п., если обеспечивается фиксация базированной детали относительно основной базы.

Конструктивное оформление чертежа изделия, при сборке которого может быть использовано базирование по базовым поверхностям деталей, должно предусматривать фиксацию устанавливаемой детали одним из следующих способов: струбцинами, прижимными фиксаторами, макетными болтами и заклепками, прихваткой сварными точками.

Сборка совмещением сборочных баз элементов конструкций и приспособлений представлена двумя классификационными группами:

- сборка с базированием по отверстиям;
- сборка с базированием по поверхностям.

Сборка по базовым отверстиям (БО) — процесс, при котором взаимное положение устанавливаемых элементов конструкций определяется совмещением отверстий в деталях и элементах сборочного приспособления (рис. I.3.3).

БО располагаются на базовых осях подборок или на расстояниях, кратных 25—50 мм (рис. 1.3.4). Система БО позволяет применять единые базы при обработке деталей и сборке узлов и агрегатов. Кроме того, эта система может быть использована в качестве базы при монтаже бортового оборудования.

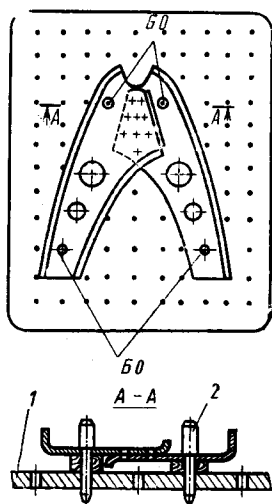


Рис. 1.3.3. Пример сборки по БО ободов носка нервюры:

1 — координатная плита;
2 — фиксаторы.

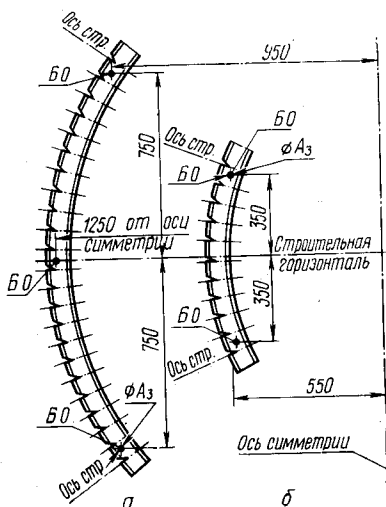


Рис. 1.3.4. Пример расположения БО в профилях шпангоутов:

а — $l > 1500$ мм; б — $l < 1500$ мм.

Базирование по БО наиболее целесообразно применять при сборке узлов, панелей, отсеков и агрегатов средних, тяжелых и сверхтяжелых самолетов.

Сборка по БО универсальна и хорошо сочетается с другими методами сборки. Так, при сборке панелей и секций фюзеляжа применяется комбинированная схема базирования, при которой

— верхние панели собираются с установкой обводов шпангоутов по БО (рис. 1.3.5), указанная база сохраняется и в стапеле сборки отсека;

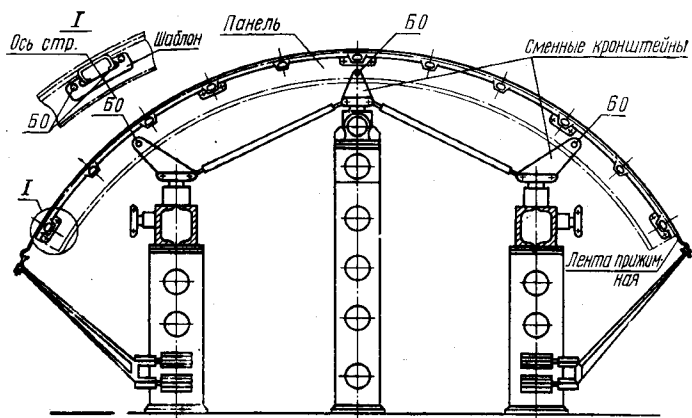


Рис. 1.3.5. Пример сборки панелей с базированием шпангоутов по БО в специализированном приспособлении со сменными наладками.

— боковые панели собираются с установкой обводов шпангоутов по БО, в качестве установочной базы на сборке отсека используются обводы и БО (рис. 1.3.6).

При сборке силовых и базовых узлов рациональной является следующая схема базирования:

— формирование внешнего обвода узла с базированием обводообразующих элементов по поверхности приспособления;

— образование новых баз (БО) по кондукторам приспособления;

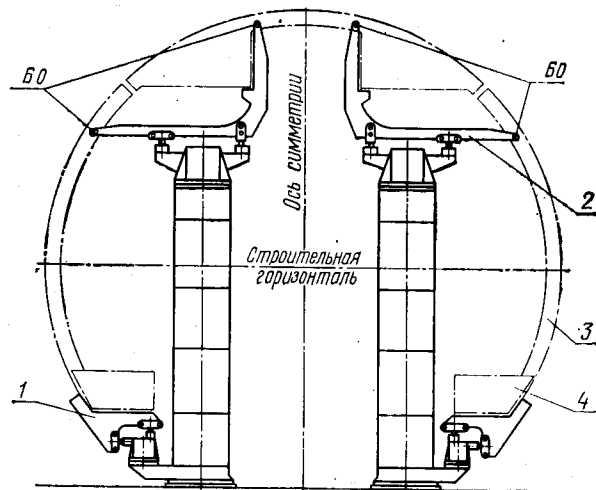


Рис. 1.3.6. Пример сборки отсека с базированием панелей по БО и рубильникам стапеля:

1 — рубильник; 2 — фиксатор БО; 3 — панель; 4 — грузовая балка.

— установка узла по БО на сборке агрегата.

Сборка по БО предъявляет ряд требований к конструкциям подборок.

Требования к технологическому членению агрегатов.

При сборке по БО необходимо членить:

— агрегаты фюзеляжа замкнутого типа на открытые подборки;

— агрегаты типа несущих плоскостей на носовую, хвостовую и кессонную части.

Решая вопросы членения агрегатов, необходимо учитывать возможность установки фиксирующих элементов стапеля через вырезы в обшивке (иллюминаторы, двери, грузовые люки и т. п.).

Требования к назначению БО в элементах каркаса планера.

1. БО необходимо вносить в конструктивные чертежи узлов и агрегатов, на которых давать обозначение БО.

2. При назначении БО в ободах шпангоутов необходимо руководствоваться следующим:

— отверстия располагать на прямых, параллельных базовым осям;

— диаметр БО для типовых ободов назначать равным 5 мм, для силовых шпангоутов самолетов тяжелого класса — 8 мм, для силовых шпангоутов машин среднего класса — 5 мм.

Класс точности отверстий БО назначать не ниже 3-го.

3. Количество БО в ободах шпангоутов длиной до 1500 мм должно быть не менее 2, в ободах шпангоутов длиной более 1500 мм и в силовых шпангоутах — не менее 3.

4. В продольных элементах каркаса типа балок и лонжеронов монолитной и клепаной конструкции БО назначать в зависимости от их жесткости.

В лонжеронах крыльев большой строительной высоты БО необходимо располагать попарно одно от другого на расстоянии (900—1200 мм), исключающем деформацию узла при сборке.

Диаметр БО назначать для лонжеронов крыла равным 8 мм; для лонжеронов оперения — 5 мм. Класс точности отверстий 3-й.

Для предупреждения выполнения БО в стенках лонжеронов клепаной конструкции следует технологические накладки крепить в местах расположения силовых точек конструкции технологическими болтами. После окончания сборки агрегата технологические накладки снимаются.

В лонжеронах монолитной конструкции диаметр БО назначать для самолетов тяжелого класса равным 10—12 мм, для машин среднего класса — 8—10 мм. Класс точности отверстий БО 3-й.

В местах расположения БО в монолитных узлах следует предусмотреть усиления в виде бонок, вводимых в конструктивный чертеж узла и назначаемых из условия прочности (рис. 1.3.7).

В чертежах для герметичных отсеков должно быть указано «БО глушить болтом» и назван способ герметизации.

Сборка с базированием от поверхности имеет три разновидности.

Сборка с базированием от поверхности каркаса — процесс, при кото-

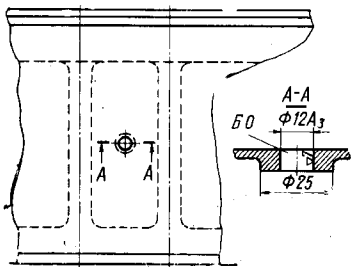


Рис. 1.3.7. Усиление лонжерона монолитной конструкции.

ром базой для устанавливаемых обводообразующих элементов являются обводы деталей ранее собранного каркаса.

При таком способе базирования обшивка или панель устанавливается внутренней поверхностью на опорные поверхности собранного каркаса и прижимается рубликами, лентами или шнурами. В этом случае погрешности обводообразующих элементов каркаса полностью переносятся на обводы окончательно собранного изделия. Поэтому необходимо добиваться наибольшей точности обводов при сборке каркаса, так как при установке обшивки или панели невозможно исправить образовавшиеся погрешности.

Базирование от погрешности каркаса применяется при сборке агрегатов самолетов легкого и среднего классов, отсеков непанелированной конструкции, состоящих из монолитных и сборных нервю и шпангоутов.

Сборка с базированием от наружной поверхности обшивки — процесс, при котором базой для устанавливаемых обводообразующих элементов являются опорные поверхности приспособлений, выполненные по наружной поверхности обшивки.

Наибольшая точность сборки этим методом может быть обеспечена только при соблюдении правила компенсации: основной сборочный размер об-

разуется не как сумма или разность размеров собираемых деталей, а как результат перенесения на подсборку размера сборочного приспособления (рис. 1.3.8).

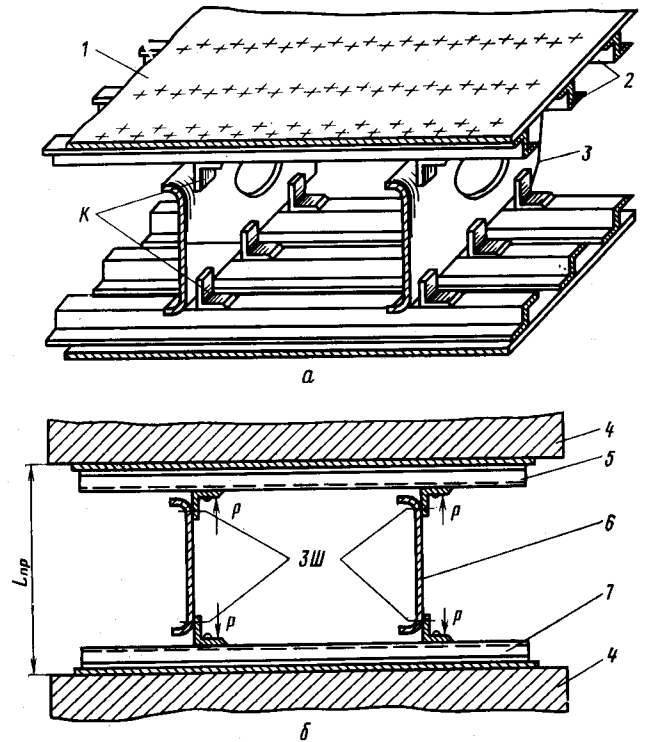


Рис. 1.3.8. Сборка кессона крыла в приспособлении:

а — конструкция; б — сборка в приспособлении; 1 — обшивка; 2 — стрингеры; 3, 6 — нервюры; 4 — ложементы сборочного приспособления; 5 — верхняя панель; 7 — нижняя панель; К — компенсаторы; ЗШ — заклепочный шов.

Реализация правила компенсации осуществляется путем

- перемещения одной из деталей относительно других;
- снятия припусков;
- заполнения зазоров прокладками и полимерными заполнителями;
- упругой деформации.

Сборка по правилу компенсации возможна лишь в том случае, когда наряду с соответствующим выбором баз деталей выполняются следующие условия:

- сборка производится в приспособлении, воспроизводящем основной сборочный размер;
- сборочные базы деталей можно совместить с базовыми поверхностями приспособления;
- взаимное расположение установленных в приспособлении деталей можно зафиксировать, соединив их между собой непосредственно или через третью деталь.

Одними технологическими средствами реализовать правило компенсации при сборке невозможно. Возможность сборки с применением компенсации должна учитываться при разработке конструкции узлов и агрегатов, к которым предъявляются следующие основные требования:

- плоскость сопряжения деталей должна быть

параллельна основному сборочному размеру (рис. 1.3.9);

— конструкция должна позволять вводить в нее специальные детали-компенсаторы, в том числе специальные прокладки, заполняющие зазор между сопрягаемыми поверхностями (рис. 1.3.10).

Базирование от наружной поверхности обшивки целесообразно применять при сборке узлов и агрегатов, к аэродинамическим обводам которых предъявляются повышенные требования.

Сборка с базированием от внутренней поверхности обшивки — процесс, при котором базируемая обшивка или панель устанавливается внутренней поверхностью на базовые поверхности сборочного приспособления или на поверхности специальных макетных элементов — нервюр, шпангоутов и др. (рис. 1.3.11).

Сущность этого метода сборки заключается в образовании технологического каркаса с помощью силовых элементов агрегата и макетных элементов. Так, при сборке агрегатов крыла и оперения, состоящих из лонжеронов балочного типа, панелей с продольными элементами каркаса, стыковых нервюр с обводом по внутреннему контуру обшивки и промежуточных нервюр, соединяемых с панелями компенсаторами, рациональной является следующая схема сборки:

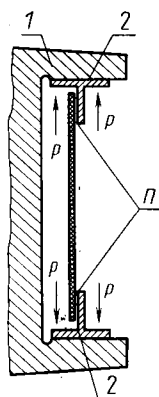


Рис. 1.3.9. Сборка лонжерона по правилу компенсации: 1 — приспособление; 2 — сборочные базы; П — плоскость сопряжения деталей.

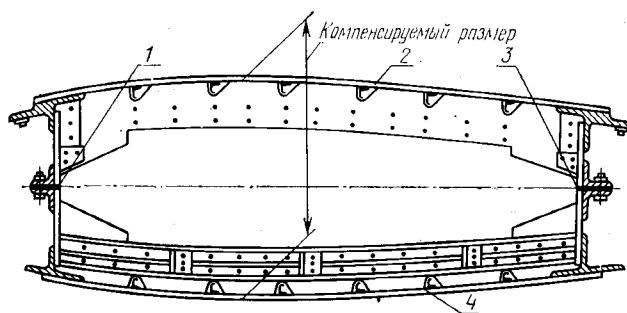


Рис. 1.3.10. Соединение панелей кессона крыла с компенсацией прокладками:

1, 3 — прокладки; 2, 4 — панели.

— лонжероны устанавливаются по БО;

— стыковые и макетные нервюры с обводами по внутреннему контуру обшивки устанавливаются по СО в стойках лонжеронов;

— панели устанавливаются по внутреннему контуру на обводы лонжеронов, макетных и стыковых нервюр, а затем соединяются с промежуточными нервюрами компенсаторами;

— макетные нервюры заменяются основными и через компенсаторы соединяются с панелями.

Достижение высокой точности при этом методе сборки обеспечивается при выполнении следующих условий:

— основные силовые узлы собираются с базой от внутреннего контура обшивки;

— БО и СО располагаются в плоскостях основных силовых узлов и сверлятся по кондукторам сборочных приспособлений;

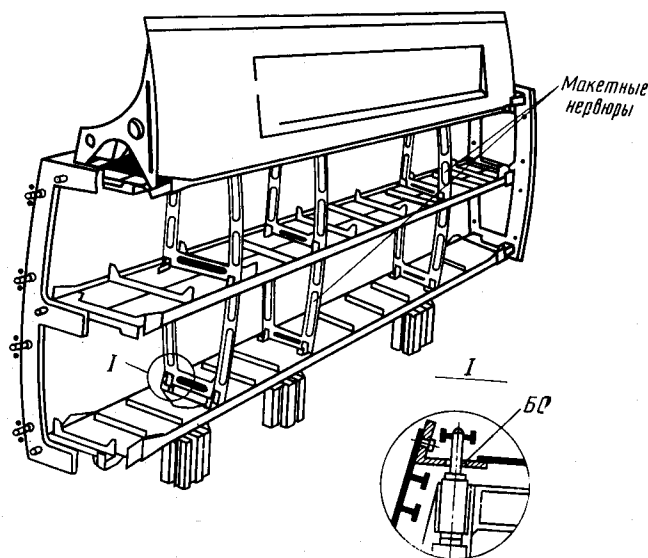


Рис. 1.3.11. Пример сборки кессона крыла с базированием по внутренней поверхности обшивки.

— макетные элементы должны обеспечивать заданную точность обводов собираемого агрегата;

— количество базовых и макетных элементов должно обеспечивать необходимое положение панелей, предотвращая их прогиб под действием собственной массы и технологических нагрузок.

Требования к количеству, диаметру и точности БО и СО остаются такими же, как и в указанных выше методах сборки.

Рассмотренные методы сборки отличаются как точностными, так и технико-экономическими показателями.

Таблица 1.3.2

Метод сборки	Наименование под сборки	Показатели *, %			
		$M_{осн}$	$T_{осн}$	$C_{осн}$	$N_{осн}$
От наружной поверхности обшивки	Узлы, агрегаты, отсеки	100	100	100	100
От поверхности каркаса	Узлы, агрегаты, отсеки	95	95	90	80 100
От внутренней поверхности обшивки	Узлы, агрегаты, отсеки	40 60	35 70	35 60	45 95
По базовым отверстиям	Узлы, агрегаты, отсеки	45 55	30 75	35 80	40 90
По сборочным отверстиям	Узлы, агрегаты, отсеки	25 75	30 60	25 55	35 85

* $M_{осн}$ — расход металла на оснастку;

$T_{осн}$ — трудоемкость изготовления оснастки;

$C_{осн}$ — себестоимость изготовления оснастки;

$N_{осн}$ — количество сборочной оснастки.

Ниже приведены расчетные данные по точности наружного обвода агрегата $\delta_{обв}$ для каждого метода сборки при общих исходных данных.

Метод сборки	$\delta_{обв}$, мм
От наружной поверхности обшивки	$\pm 0,4$
От поверхности каркаса	$\pm 0,5$
От внутренней поверхности обшивки	$\pm 0,8$
По сборочным отверстиям	$\pm 1,2$
По базовым отверстиям	$\pm 1,0$

В табл. I.3.2 приведены технико-экономические показатели методов сборки узлов агрегатов, отсеков в сфере подготовки производства в процент-

Таблица I.3.3

Метод сборки	Показатели*, %		
	$c_{сб}$	F	Π
От наружной поверхности обшивки	100	100	100
От поверхности каркаса	115	95	120
От внутренней поверхности обшивки	65	70	90
По сборочным отверстиям	70	65	80
По базовым отверстиям	60	80	85

* $c_{сб}$ — технологическая себестоимость сборки;
 F — площадь, занимаемая оснасткой;
 Π — цикл сборки.

ном выражении по отношению к сборке с базированием от наружной поверхности обшивки, а в табл. I.3.3 — в сфере основного производства.

Окончательное решение о применении того или иного метода сборки может быть принято только на основании точностного и технико-экономического расчетов с учетом всех конструктивно-технологических особенностей проектируемого изделия.

ЛИТЕРАТУРА

- Григорьев В. П. Сборка клепаных агрегатов самолетов и вертолетов. М., «Машиностроение», 1975.
- Григорьев В. П. Взаимозаменяемость в машиностроении. М., «Машиностроение», 1969.
- Горбунов М. Н. Основы технологии производства самолетов. М., «Машиностроение», 1976.
- Кононенко В. Г., Кучер П. Н., Боборыкин Ю. А. и др. Технология производства летательных аппаратов. Киев, «Вища школа», 1974.
- Себибов А. А., Бирюков Н. М., Бойцов В. В. и др. Технология самолетостроения. М., «Машиностроение», 1970.
- Шекунов Е. П. Основы технологического членения конструкции самолета. М., «Машиностроение», 1968.
- Павлов В. В. Методы базирования и сборки летательных аппаратов. М., 1968.
- Сборка узлов и агрегатов крупногабаритных самолетов. РТМ-1223. НИАТ, 1970.
- Сборка узлов и панелей по сборочным отверстиям. РТМ-963. НИАТ, 1960.
- Конструирование, сборка сварных стальных изделий в агрегатированных сборочно-сварочных установках. ТР-484-71. НИАТ, 1971.
- Технические требования и рекомендации по обеспечению взаимозаменяемости агрегатов планера и силовой установки самолетов гражданской авиации при техническом обслуживании и ремонте. М., НИИГА, 1972.

Непрерывное совершенствование конструкций самолетов (вертолетов) и насыщение их системами бортового оборудования привели к увеличению плотности оборудования на единицу объема планера. Например, на современном истребителе коэффициент насыщенности поперечного сечения (отношение суммарной площади поперечного сечения бортового оборудования к площади планера в том же сечении) достигает 80—85%.

Большие затраты труда и времени на монтажно-сборочные и контрольно-испытательные работы в процессе производства изделий и особенно в процессе эксплуатации, повышенные требования к качеству и надежности систем бортового оборудования выдвинули на первый план вопрос технологичности конструкций.

Под технологичностью конструкции самолета понимается комплекс ее свойств, позволяющих при сохранении заданных эксплуатационных показателей, включая и ремонтпригодность, изготавливать ее с меньшими производственными затратами и в наиболее короткое время.

Применительно к системам бортового оборудования это понятие подразумевает наиболее целесообразное изготовление деталей и узлов, рациональное их размещение на планере, удобство монтажа, контроля, испытания и обработки систем бортового оборудования.

Стремление к высокому уровню технологичности конструкций — один из основных принципов конструирования современных самолетов.

Возможность удешевления самолета за счет совершенствования конструкции в большинстве случаев не меньше возможности ее удешевления в результате совершенствования технологических процессов. То обстоятельство, что технологическая рационализация конструкции, не требуя серьезных затрат для своего осуществления, приносит большой технико-экономический эффект, делает ее основным фактором роста производительности тру-

да в процессе производства, технического обслуживания при эксплуатации и ремонте.

Взаимосвязь конструкции изделия с технологией его производства обусловили одну из наиболее сложных функций технологической подготовки производства — обработку конструкции на технологичность. Недостаточно полное выполнение этой функции приводит к изготовлению неотработанных на технологичность изделий, что вызывает неоправданные затраты труда, средств, материалов и времени. Причиной этого являлось отсутствие до последнего времени методических основ оценки технологичности. Конструктор вынужден был ограничиваться только качественной характеристикой (всегда субъективной) и общими рекомендациями учитывать определенные требования к сборке, монтажу, контролю, испытанию и обработке систем бортового оборудования.

Однако общие рекомендации не дают возможности осуществить сравнительную количественную оценку различных конструкций систем бортового оборудования одного назначения с необходимой объективностью и точностью.

Оптимальный вариант конструкции системы бортового оборудования определяется при проектировании, поэтому на каждой стадии этого процесса необходимы показатели, характеризующие выполнение различных требований технологичности конструкций.

В данной части сборника приведены рекомендации по технологичности систем бортового оборудования самолетных конструкций, разработанные на основе выполненных специалистами НИАТ научно-исследовательских работ, анализа опыта ОКБ и серийных заводов отрасли, отечественного и зарубежного опыта проектирования и изготовления новых изделий. Наряду с этим приведены и нетехнологичные варианты, чтобы предостеречь конструкторов от их использования в новых разработках.

Глава 1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Основная задача обработки конструкции на технологичность заключается в повышении производительности труда при оптимальном снижении затрат труда, средств, материалов и времени на проектирование, подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт, обеспечение прочих заданных показателей качества изделия в принятых условиях его производства и эксплуатации.

Для выполнения этой задачи необходимо:

- обеспечить обязательность обработки на технологичность конструкции изделия на всех стадиях его проектирования, производства и эксплуатации;
- определить показатели, которые могут быть критериями оценки технологичности конструкции, методы расчета показателей технологичности конструкции, методы обработки на технологичность различных систем бортового оборудования на всех стадиях проектирования.

Методические основы обработки конструкций на технологичность, оценки ее уровня разработаны с учетом принципов и требований, изложенных в ГОСТ 14.201—73, ГОСТ 18.831—73.

Обязательность обработки конструкций изделий на технологичность на всех стадиях их создания устанавливается стандартами Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Количественная оценка технологичности конструкции основана на системе показателей, являющихся критериями технологичности.

Оценка технологичности конструкции изделия, согласно ГОСТ 14.201—73, основана на:

- базовых показателях технологичности, значения которых регламентированы в обязательном по-

рядке соответствующей директивной документации на изделие и его составные части (системы бортового оборудования);

- показателях проектируемой конструкции, достигнутых в процессе обработки конструкции на технологичность;

- показателях уровня технологичности конструкции изделия, значения которых регламентированы соответствующей директивной документацией, предопределяющей производство (изготовление) изделия и его составных частей (систем бортового оборудования).

Виды технологичности определяются признаками, характеризующими области проявления свойств технологичности конструкции изделия. По области проявления свойств технологичности конструкции изделия различают производственную и эксплуатационную технологичность конструкции (схема II.1.1).

Производственная технологичность конструкции изделия проявляется в сокращении затрат средств и времени на конструкторскую (КПП) и технологическую подготовку производства (ТПП) и на процессы изготовления.

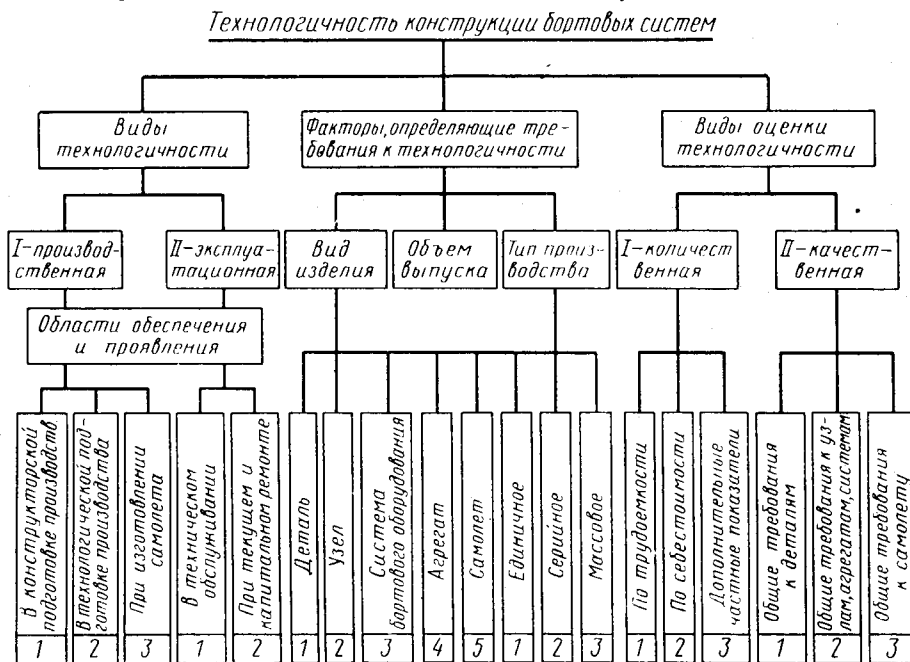
Эксплуатационная технологичность конструкции изделия проявляется в сокращении затрат средств и времени на техническое обслуживание и ремонт изделия.

Главные факторы, определяющие требования к технологичности конструкции изделия, характеризуются конструктивно-технологическими признаками изделия; объемом выпуска и типом производства.

Вид изделия определяет главные конструктивно-технологические признаки, обуславливающие характерные требования к технологичности конструкции.

Схема II.1.1

Виды технологичности, оценки и главные факторы, определяющие требования к технологичности конструкции изделия



Объем выпуска и тип производства — главные факторы, характеризующие требования к технологичности конструкции изделия, обусловленные технологической оснащенностью производства.

Производство принято делить на следующие типы:

- единичное (в том числе, опытное, являющееся этапом проектирования изделия);
- серийное;
- массовое.

Вид оценки — важный фактор, характеризующий метод сравнения вариантов конструкции и обоснованный выбор оптимального варианта. Оценка технологичности конструкции изделия может быть количественной и качественной.

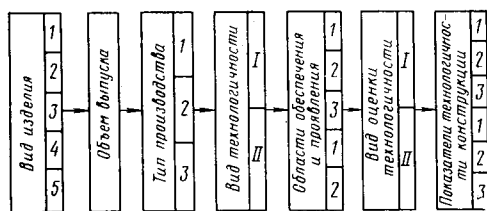
Последовательность анализа конструкций бортовых систем изделия при выборе показателей технологичности представлена на схеме II.1.2.

При решении основной задачи отработки конструкции на технологичность необходимо каждое изделие рассматривать как объект проектирования, производства и эксплуатации.

Изделие и его составные части — системы бортового оборудования — проходят ряд стадий проектирования, специфика которых должна учитываться при отработке конструкции на технологичность.

Схема II.1.2

Последовательность анализа конструкции изделия при выборе показателей технологичности



Примечание. Нумерация соответствует приведенной на схеме II.1.1

Для своевременной отработки конструкции на технологичность, сокращения сроков проектирования и быстрее получения отправных (первичных) данных для подготовки производства технологи должны участвовать в разработке конструкции изделия на всех стадиях проектирования, отчетливо представлять специфику каждой его стадии и специфику изделия как объекта эксплуатации.

При отработке на технологичность конструкции изделия и его составных частей — систем бортового оборудования, — являющихся объектом производства, учитываются:

- виды и методы сборки, монтажа, контроля и испытаний, отработки на функционирование;
- возможность использования типовых технологических процессов, механизации и автоматизации процессов изготовления и технологической подготовки производства;
- условия материального обеспечения производства;
- квалификация рабочих кадров.

При отработке на технологичность конструкции изделия и его составных частей — систем бортового оборудования, — являющихся объектом эксплуатации, анализируют:

- приспособленность (удобство) изделия к управлению и сокращению трудоемкости подготовки к функционированию и контролю работоспособности;
- удобство выполнения регламентных работ технического обслуживания, необходимых для повышения срока службы изделия (долговечности, ресурса) и обеспечения надежности при работе, снижение их трудоемкости;
- удобство выполнения ремонтных работ, необходимых для восстановления работоспособности изделия, и снижение их трудоемкости;
- обеспечение требований техники безопасности.

Изделия и их составные части — системы бортового оборудования — могут быть различного вида, что существенно влияет на содержание задач, решаемых при отработке на технологичность. Согласно ГОСТ 2.101–68, изделия подразделяются на детали, сборочные (монтажно-сборочные) единицы, комплексы (функциональные, монтажные) и комплекты.

Целесообразно разграничивать и задачи, решаемые при отработке конструкции изделия на технологичность:

- снижение трудоемкости изготовления изделия;
- стандартизация и унификация его составных частей;
- унификация элементов конструкции деталей;
- возможность применения типовых технологических процессов сборки, монтажа, контроля, испытания и отработки систем бортового оборудования при производстве, эксплуатации и ремонте.

Снижение трудоемкости изготовления изделия зависит от многих факторов, главными являются стандартизация и унификация составных частей изделий и их элементов, типизация технологических процессов изготовления, технического обслуживания и ремонта изделия.

Стандартизация составных частей изделия подразумевает применение стандартных сборочных (монтажно-сборочных) единиц (блоков, агрегатов и др.) или деталей (крепеж и др.) (табл. II.1.1.). При использовании стандартных составных частей изделия создаются предпосылки для их централизованного производства. На специализированном предприятии в условиях массового или крупносерийного производства стоимость продукции значительно ниже, чем на неспециализированном. Использование в конструкции изделия стандартных составных частей облегчает их взаимозаменяемость. Это позволяет ликвидировать пригоночные работы при сборке и монтаже и существенно облегчить техническое обслуживание и ремонт изделия.

В приложении 1 приведена оценка уровня стандартизации проектируемой гидросистемы изделия.

Унификация составных частей изделия подразумевает:

- использование в проектируемых изделиях составных частей конструкций, отработанных на технологичность и освоенных в производстве;
- использование покупных изделий;
- унификацию конструктивных материалов;
- сокращение количества наименований и типов размеров составных частей изделия.

Унификация элементов конструкций деталей подразумевает применение унифицированных радиусовгиба трубопроводов и патрубков, посадок, классов точности, резьб, шлицев, шпонок, модулей зубьев, диаметров отверстий, радиусов сопряжения поверхностей и т. п.

Применение типовых технологических процессов сборки, монтажа, контроля, испытания и отработки систем бортового оборудования основано на группировании однотипных составных частей изделия в целях увеличения серийности производства, что создает условия для повышения уровня его механизации и автоматизации, сокращения сроков изготовления, обслуживания и ремонта изделий.

Таблица II.1.1

Уровень стандартизации и унификации гидросистем изделий среднего класса

Структура гидросистемы	Агрегаты															Коэффициент применяемости $K_{прим}$, %															
	источники гидроразнергии	обслуживания							защиты				конт-роля	ко-манд-ные	исполдни-тельные механизмы																
		мультипликатор	насос (АН-1576) ^{1, 2}	гидроаккумулятор (АН-1995) ²	клапан поддавления ^{1, 2}	клапан редукционный (АН-2145) ^{1, 2}	штуцер бортовой (АН-2326, АН-1707, АН-2321, АН-975) ^{1, 2}	клапан согласования (АН-2063)	кран вентильный (АН-1907) ^{1, 2}	редуктор воздушный ^{1, 2}	редуктор гидравлический ^{1, 2}	баллон воздушный			бак		ем-кости	клапан предохранительный (АН-1928) ^{1, 2}	фильтр (АН-2278, АН-2072, АН-2250, АН-1859, АН-1883) ^{1, 2}	автомат разгрузки ^{1, 2}	клапан обратный (АН-1937, АН-2327, АН-2207, АН-2041) ^{1, 2}	переключатель аварийный (АН-2011, АН-2115) ^{1, 2}	дроссель (АН-1906) ^{1, 2}	манометр (АН-2089, АН-2096) ^{1, 2}	сигнализатор давления (АН-2090) ^{1, 2}	кран электромагнитный (АН-2035) ^{1, 2}	автомат управления ^{1, 2}	цилиндр управления (АН-2033, АН-2251) ³	механизм разворота	поворотное соединение	гидрозамок (АН-2014) ^{1, 2}
Блок питания		+	+	+		+	-	+	+		-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	87	
Подсистема	управления каналом воздухозаборника		+			+							+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	-				85	
	управления разворотом передней стойки шасси																								+	+	-				67
	выпуска — уборки основных и передней стоек шасси						-										+	+	+	+	+	+	+	+	+	-		+		46	
	управления тормозными щитками																							+	+	-	-			50	
	управления закрылками																							+	+	-	-			75	
	управления торможением колес	-	+						+	+			+				+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-			83
	управления створками турбостартера																									-	-	-			0
	управления элеронами																									+	+				100
	управления рулем поворота																									+	+				100
	управления стабилизаторами																									+	+				100
Гидросистема в целом	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+		86

¹ Готовые изделия II, III стадии разработки по «Указателю технической информационной картотеки» НИИСУ, 1969.

² Имеются стандарты.

³ Стандарты по бустерам управления.

⁴ + — готовые или стандартные агрегаты.

⁵ — — оригинальные агрегаты.

Расчет произведен по всем типоразмерам агрегатов.

Знаками + и — указан один типоразмер каждого наименования агрегата.

Для изделий типа сборочных (монтажно-сборочных) единиц задачами отработки конструкций на технологичность (кроме вышеуказанных) являются:

— обеспечение рационального членения изделия на составные части, технологичности принципиальной и конструктивной схем сборочной (монтажно-сборочной) единицы, технологичной компоновки сборочной (монтажно-сборочной) единицы, геомет-

Таблица II.1.2

Уровни технологической законченности монтажно-сборочных единиц и работ в монтажной зоне (на изделии) по бортовым системам и оборудованию

Уровень законченности	Операции технологического процесса
I	Сборка узлов, монтажные работы Контроль качества монтажа по геометрическим параметрам Регулировочные работы Контроль системы (подсистемы, участка системы) по физическим параметрам Испытание системы на работоспособность по функциональным параметрам
II	Сборка узлов, монтажные работы Контроль качества монтажа по геометрическим параметрам Регулировочные работы Контроль системы (подсистемы, участка системы) по физическим параметрам
III	Сборка узлов, монтажные работы Контроль качества монтажа по геометрическим параметрам Регулировочные работы
IV	Сборка узлов, монтажные работы Контроль качества монтажа по геометрическим параметрам
V	Сборка узлов, монтажные работы

рической взаимозаменяемости составной части изделия и ее элементов, условий регулировки; условий применения высокопроизводительных технологических процессов сборки, монтажа, контроля, испытания и отработки систем бортового оборудования;

— ограничение и сокращение номенклатуры материалов, используемых в составных частях изделия.

Рациональное членение изделия на составные части (сборочные, монтажные и монтажно-сборочные единицы) обеспечивает независимую параллельную сборку, сокращает цикл общей сборки изделия, улучшает условия сборки, контроля, испытания и отработки по составным частям изделия. В табл. II.1.2 приведены уровни технологической законченности монтажно-сборочных единиц систем бортового оборудования. При разработке конструкции каждой системы бортового оборудования следует предусматривать возможность их монтажа, контроля, испытания и отработки в монтажных зонах — агрегатах и отсеках планера (рис. II.1.1.).

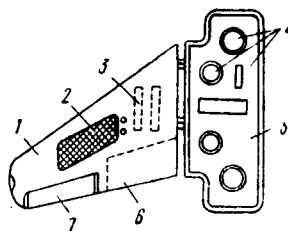


Рис. II.1.1. Схема отработки крыла на стенде:

1 — крыло; 2 — система заправки горючего из бака; 3 — система подвески груза; 4 — измерительные приборы; 5 — контрольный щиток; 6 — посадочный щиток; 7 — элерон.

Крыло устанавливается на контрольный стенд и стыкуется с ним, при этом происходит соединение всех трубопроводов и тяг управления. На контрольном стенде имеются измерительные приборы, по которым проверяется работа систем, смонтированных в крыле (углы отклонения посадочного щитка и элерона, действие системы подвески груза, системы заправки горючего из бака и т. д.).

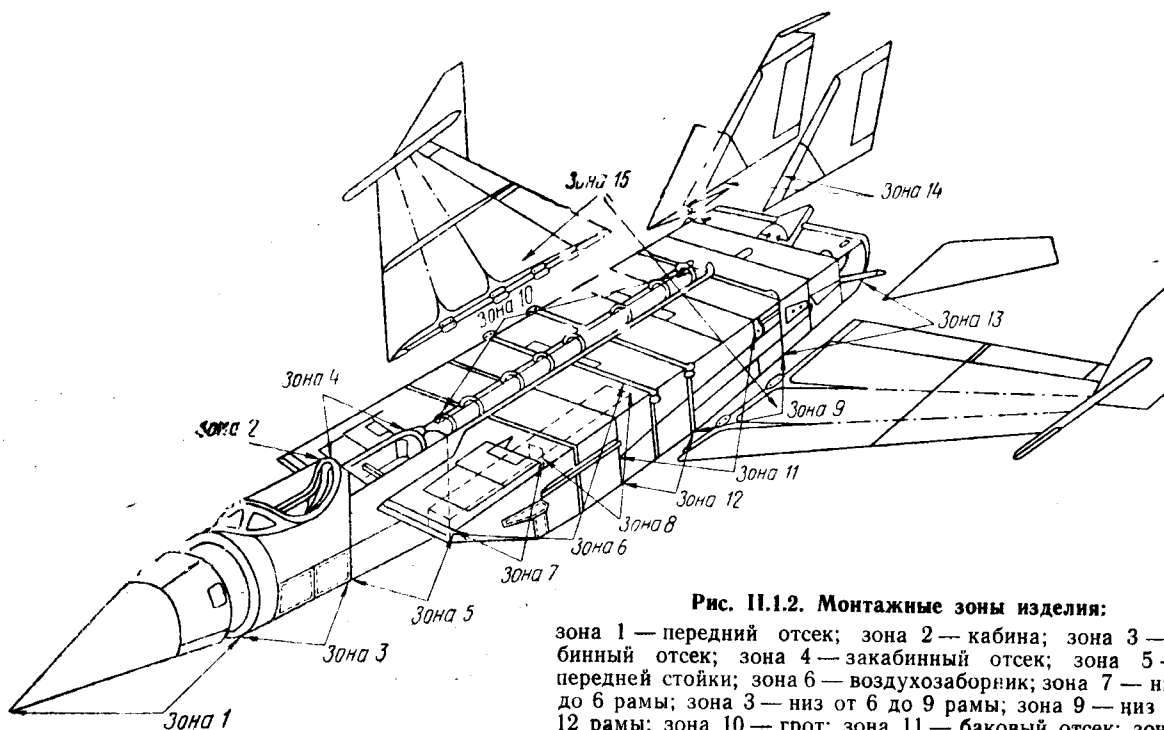


Рис. II.1.2. Монтажные зоны изделия:

зона 1 — передний отсек; зона 2 — кабина; зона 3 — подкабинный отсек; зона 4 — закабинный отсек; зона 5 — ниша передней стойки; зона 6 — воздухозаборник; зона 7 — низ от 3 до 6 рамы; зона 8 — низ от 6 до 9 рамы; зона 9 — низ от 9 до 12 рамы; зона 10 — грот; зона 11 — баковый отсек; зона 12 — ниша основных стоек шасси; зона 13 — хвостовой отсек; зона 14 — кили; зона 15 — крылья.

Технологичность принципиальной и конструктивной схем сборочной (монтажно-сборочной) единицы характеризуется надежным выполнением установленных для изделия функций при минимальном числе составных частей. Технологичность компоновки сборочной (монтажно-сборочной) единицы характеризуется ее рациональностью с точки зрения компактности, сочетаемой с удобствами сборки (монтажа), контроля, испытания и отработки в процессе изготовления и технического обслуживания изделия при эксплуатации (табл. II.1.3, II.1.4, рис. II.1.2, II.1.3). Принципы разработки сборочных (монтажно-сборочных) единиц (монтажных зон и панелей) приведены на схемах II.1.3, II.1.4.



Рис. II.1.3. Сборка панели в приспособлении, обеспечивающем взаимозаменяемость при последующем монтаже на изделии.

Панели с гидроагрегатами после сборки испытываются на специальном стенде, в общей промывке гидросистемы на изделии они не участвуют и должны быть закольцованы.

В приложении 2 приведена оценка вариантов функциональных компоновок гидросистемы, выполненная в соответствии с типажом функциональных компоновок гидросистем (приложение 3) и классификацией линий гидросистем по категориям нагружения трубопроводов (приложение 4).

Под взаимозаменяемостью (по ГОСТ 18.831—73) понимается свойство конструкции составной части изделия обеспечивать возможность ее применения вместо другой без дополнительной обработки с сохранением необходимого качества изделия, в состав которого она входит.

Геометрическая взаимозаменяемость систем бортового оборудования должна закладываться при проектировании и обеспечиваться на всех этапах увязки и конструктивно-технологической отработки монтажей в опытно-конструкторской организации и на серийном заводе. Рекомендуемое распределение объема конструктивно-технологической отработки монтажей между опытно-конструкторской организацией и серийным заводом обусловлено требованиями сокращения сроков подготовки и освоения серийного производства изделий (рис. II.1.4).

Отработка монтажей в целях обеспечения геометрической взаимозаменяемости систем бортового оборудования (табл. II.1.5) производится:

- а) в опытно-конструкторской организации на
 - макетах;
 - увязочно-компоновочных схемах;
 - плоском и объемном плазах;
 - технологических натурных стендах;
 - опытных изделиях;

- б) на серийном заводе на
 - плоском и объемном плазах;
 - технологическом (эталонном) изделии;
 - изделиях головной серии.

Методы обеспечения геометрической взаимозаменяемости приведены в табл. II.1.6.

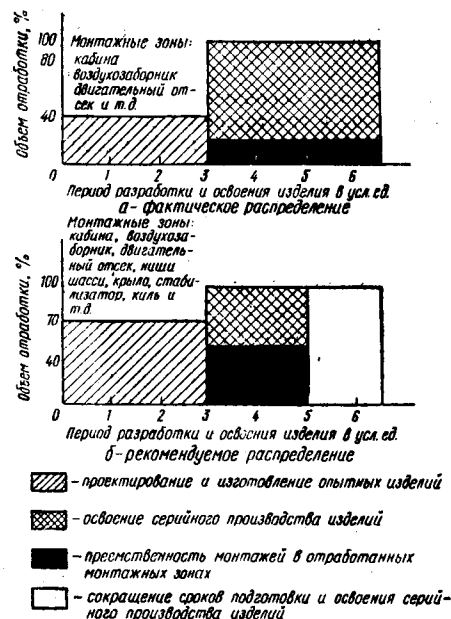


Рис. II.1.4. Эффективность перераспределения объема конструктивно-технологической отработки монтажей изделий среднего класса между ОКБ и серийным заводом.

Плазовая проработка монтажей путем прочерчивания на плоскости (увязочно-компоновочных схемах, конструктивных плазах) контуров элементов планера и бортового оборудования в целях увязки их взаимного положения должна производиться в следующей последовательности:

— расчерчивание теоретических обводов, каркасных элементов и кинематических схем механических систем управления;

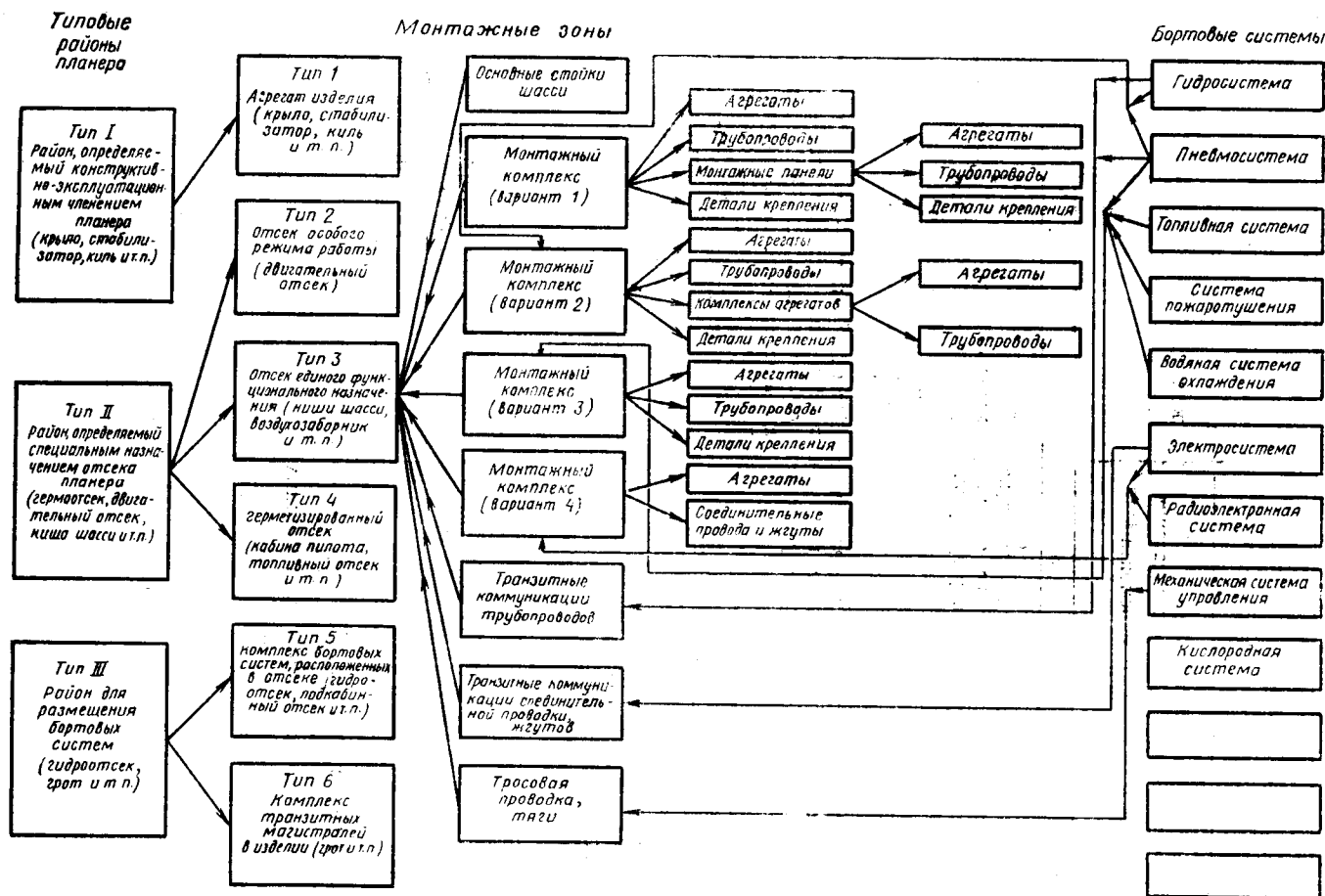
— компоновка элементов оборудования и прокладка коммуникаций трубопроводных систем и электросетей;

— уточнение монтажных чертежей и чертежей оборудования.

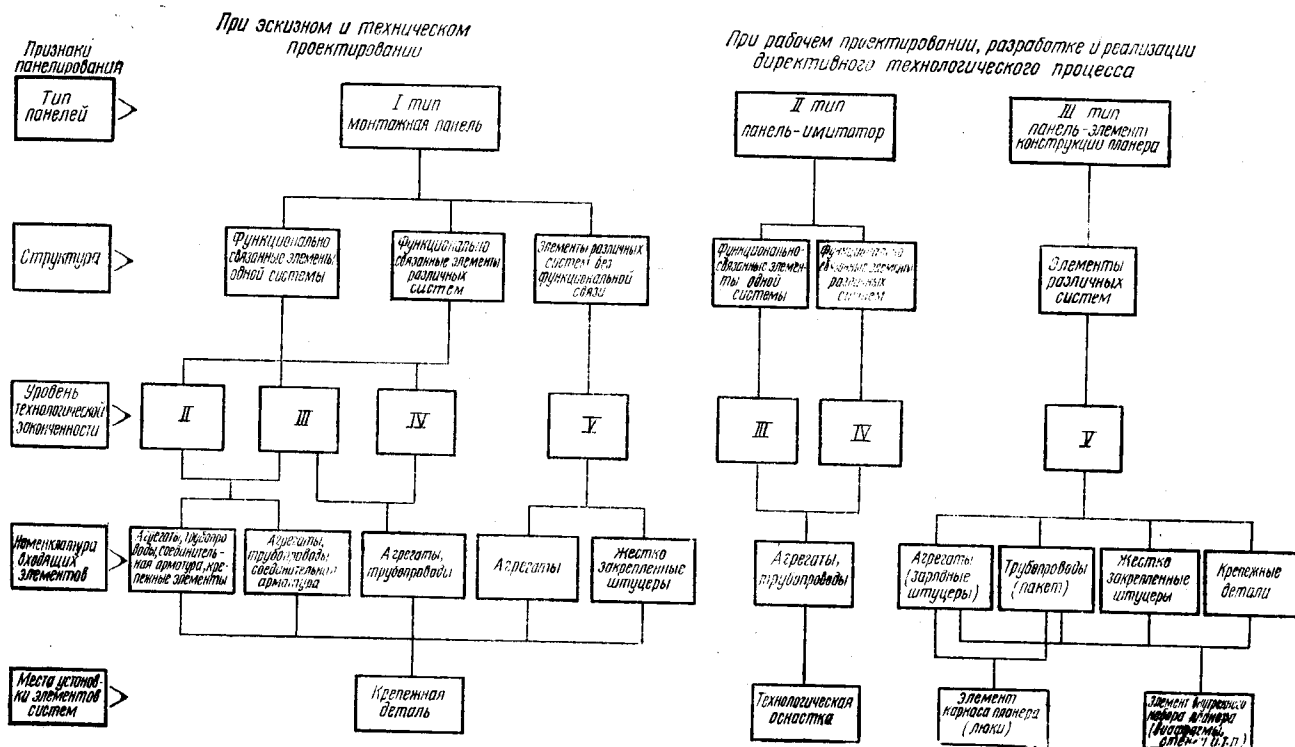
Обязательной проработке на конструктивном плазе подлежат: элементы механической системы управления; приборы электросетей, функционально-энергетические агрегаты гидрогазовых и топливных систем; элементы коммуникаций, имеющие сложную конфигурацию или проходящие через различные отверстия и вырезы в элементах каркаса планера.

Плазовую отработку криволинейных патрубков по типам и размерам элементов рекомендуется производить с учетом требований ОСТ 1.41288—72 ÷ ОСТ 1.41298—72. В процессе плазовой проработки может производиться расчет размерных цепей для определения рациональных допусков на изготовление и установку элементов оборудования и коммуникаций. Для графоаналитического расчета

Разработка монтажной зоны



Панелирование элементов трубопроводных систем



Компоновочно-монтажная характеристика гидроагрегатов

Функциональная категория	Наименование	Количество подсединений*	Категория нагружения трубопровода**	Рациональное комплексирование и панелирование	Место размещения в изделии	Необходимость подходов к агрегату в процессе		Средства увязки и конструктивно-технологической отработки монтажа агрегатов	Этап установки агрегата в процессе производства
						производства ***	эксплуатации и ремонта ****		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Источники давления и гидроэнергии	Гидробаки	3—5	В	—	Ниша основных стоек	При заправке, регулировке и отработке на функционирование	При заправке, проверке параметров и регулировке	Плоский плаз; макет объекта; увязочно-компоновочная схема монтажной зоны; объемный плаз монтажной зоны	При окончательной сборке изделия
	Гидроаккумуляторы	2—3	А, В	С агрегатами по линии нагнетания	Монтажная панель в гидроотсеке и в нише основных стоек шасси	При промывке системы	При заправке, проверке параметров и регулировке	Плоский плаз — для панелируемого агрегата; объемный плаз, опытное изделие — для непанелируемого	Панелируемый агрегат — при комплектровке панели; непанелируемый — при окончательной сборке
	Насосы	3	А, В	—	Двигатель	При промывке и проверке на герметичность	Подход к двигателю с установленными насосами	Макет двигателя	При подготовке двигателей к установке на самолет
	Воздушные баллоны	1—3	В	С агрегатами по линии поддавливания	Монтажная панель в гидроотсеке и в нише основных стоек шасси	При заправке, регулировке и отработке на функционирование	При заправке, проверке параметров и регулировке	Плоский плаз — для панелируемого агрегата; увязочно-компоновочная схема — для непанелируемого	При комплектровке панелей
	Мультипликаторы	3	А, В	С агрегатами по линиям нагнетания	Монтажная панель в гидроотсеке	—	—	Плоский плаз — для панелируемого агрегата; объемный плаз, опытное изделие — для непанелируемого	Панелируемый агрегат — при комплектровке панели; непанелируемый — при окончательной сборке планера
Агрегаты защиты	Фильтры	2—3	А, В	С агрегатами по линиям нагнетания, слива, поддавливания	Монтажная панель в районе установки функционально связанных агрегатов. Граница двигательного отсека для фильтров блока питания	При промывке, проверке на герметичность и отработке на функционирование	Для снятия агрегата при выполнении регламентных работ	Плоский плаз — для панелируемого агрегата	При комплектровке панели
	Предохранительные клапаны	3—5	А, В	С агрегатами по линии нагнетания	Монтажная панель в гидроотсеке			Объемный плаз, опытное изделие — для непанелируемого агрегата	При комплектровке панели или при окончательной сборке изделия
	Автоматы разгрузки насосов	5—8	А, В	С агрегатами по линии нагнетания					При комплектровке панели или при окончательной сборке изделия

	Обратные клапаны	2	А, Б, В	С агрегатами по линиям нагнетания, слива и рабочей линии	Монтажная панель в районе установки функционально связанных агрегатов	При проверке на герметичность	—	Плоский плаз — для панелируемого агрегата; увязочно - компоновочная схема — для непанелируемого агрегата III группы точности *****	При окончательной сборке изделия	
	Аварийные переключатели	3—4	Б	С агрегатами по рабочей линии		—	—	Объемный плаз — для непанелируемого агрегата II группы точности *****		
	Дроссели	2	А, Б	С агрегатами по линии нагнетания, слива и рабочей линии		При проверке на герметичность	—	Объемный плаз, опытное изделие — для непанелируемого агрегата I группы точности *****		
Агрегаты зарядки и контроля	Манометры	1	Б, В	С агрегатами зарядки и контроля других систем	Монтажная панель или панель-элемент конструкции планера в районе установки функционально связанных агрегатов	Для визуального осмотра при отработке на функционирование	Для визуального осмотра при предполетной подготовке	Плоский плаз — для панелируемого агрегата; увязочно - компоновочная схема — для непанелируемого агрегата III группы точности ***** объемный плаз — для непанелируемого агрегата I и II групп точности *****	При комплектовке панели или окончательной сборке изделия	
	Датчики давления	1	А, Б, В							
	Сигнализаторы	1	А, Б, В			При заправке системы и отработке на функционирование	При заправке системы		При агрегатной сборке изделия	
	Зарядные штуцеры	1	А, Б, В							
Командные агрегаты	Электрогидравлические краны	3—8	А, В	С агрегатами по линии нагнетания	Монтажная панель в районе установки функционально связанных агрегатов	—	—	Плоский плаз — для панелируемого агрегата; объемный плаз, опытное изделие — для непанелируемого агрегата	При комплектовке панели или при окончательной сборке изделия	
	Пневмогидравлические редукторы	3—5	Б	С агрегатами по рабочей линии	Монтажная панель в нише шасси	—	—	Плоский плаз — для панелируемого агрегата Объемный плаз — для непанелируемого агрегата	При агрегатной сборке	
	Гидрозамки	5	Б			—	Для визуального осмотра при предполетной и послеполетной подготовке			

Функциональная категория	Наименование	Количество подсоединений*	Категория нагружения подсоединяемого трубопровода**	Рациональное комплексирование и панелирование	Место размещения в изделии	Необходимость подходов к агрегату в процессе		Средства увязки и конструктивно-технологической отработки монтажа агрегатов	Этап установки агрегата в процессе производства
						производства ***	эксплуатации и ремонта ****		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Командные агрегаты	Согласующие клапаны	3—4	А, Б	С агрегатами по линии нагнетания и рабочей линии	Монтажная панель в гидроотсеке, в нише основных стоек шасси	—	При заправке, проверке параметров и регулировке	Плоский плаз — для панелируемого агрегата	При агрегатной сборке изделия или при комплектовке панели
	Агрегаты управления	5—7	А, В	С агрегатами по линии нагнетания	Монтажная панель в районе воздухозаборника	При проверке на герметичность	При промывке фильтроэлемента для выполнения регламентных работ	Объемный плаз, опытное изделие — для непанелируемого агрегата	При комплектовке панели или при окончательной сборке изделия
Исполнительные агрегаты	Силовые цилиндры	2—4	А, Б	С агрегатами по рабочей линии	На специально усиленном элементе конструкции планера	При промывке, проверке на герметичность и отработке на функционирование	Для визуального осмотра при выполнении регламентных работ	Плоский плаз; макет объекта; увязочно-компоновочная схема монтажной зоны; объемный плаз монтажной зоны	При агрегатной сборке изделия
	Бустеры	4	А, В	—					

* Данные графы 3 необходимо учитывать в процессе разработки сборочных чертежей размещения системы в монтажной зоне при определении количества подсоединений к агрегату и выборе соответствующей арматуры.

** Классификация линий гидросистем по категориям нагружения трубопроводов приведена в приложении 4.

*** Указания графы 7 подразумевают необходимость подходов для закольцовки агрегата или замены его технологическим.

**** Данные графы 8 приведены согласно «Единому регламенту технического обслуживания».

***** Группа точности определяется по ОСТ 1.41421—73.

Типаж панелей гидросистем изделий среднего класса

Тип панели	№ варианта	Наименование панели	Район размещения	Номенклатура входящих элементов	Уровень технологической законченности	Группа точности панели*	База координации		Необходимость подходов к панели в процессе производства, эксплуатации и ремонта	Средства увязки и конструктивно-технологической отработки монтажа панели	Этап установки на серийном изделии
							мест установки элементов систем на панели **	мест крепления панели на изделии			
I - МОНТАЖНАЯ	Этап технического проектирования										
	I-1	Панель подсистемы подавливания блока питания	Ниша основных стоек шасси	Агрегаты (баллоны, агрегаты зарядки и т. д.). Трубопроводы I, II, III групп точности. Соединительная арматура (тройники, крестовины и т. д.). Крепежные элементы (хомуты, колодки и т. д.)	II	I	Агрегат высшей группы точности с максимальным количеством отводов	Стыковые узлы планера. Место крепления агрегата регламентированного положения	К технологическим агрегатам — при промывке и проверке на герметичность (к фильтру, обратному клапану и т. д.). К регламентным агрегатам — при предполетной подготовке и выполнении регламентных работ (к фильтру)		
				II	Теоретический контур и оси планера Место крепления агрегата I группы точности, функционально связанного с панелью						
				III	Агрегат с максимальным количеством отводов Место крепления агрегата I, II групп точности						
	I-2	Панель подсистемы управления воздухозаборником	Воздухозаборник	Агрегаты (командные, защиты и т. д.). Трубопроводы I, II групп точности. Соединительная арматура (тройники, крестовины и т. д.)	III	I	Агрегат высшей группы точности с максимальным количеством отводов	Стыковые узлы планера. Место крепления агрегата регламентированного положения	К технологическим агрегатам — при промывке и проверке на герметичность (к обратному клапану, дросселю). К регламентным агрегатам — при предполетной подготовке и выполнении регламентных работ (к агрегату управления клином воздухозаборника)	Объемный плаз монтажной зоны для отработки взаимозаменяемости установки панели и подсоединения трубопроводов	При окончательной сборке
				II	Теоретический контур оси планера. Место крепления агрегата I группы точности, функционально связанного с панелью						
I-3	Панель агрегатов блока питания линии давления	Гидроотсек. Ниша основных стоек шасси	Агрегаты (гидроаккумуляторы). Трубопроводы I группы точности	IV	I	Агрегат высшей группы точности. Точки крепления панели для агрегатов, не имеющих функциональной связи	Стыковые узлы планера. Место крепления агрегата регламентированного положения	К регламентным агрегатам — при предполетной подготовке и выполнении регламентных работ (к гидроаккумуляторам)			
I-4	Панель агрегатов блока питания различных линий	Гидроотсек. Отсек двигателя.	Агрегаты (фильтры)	V	II	Точки крепления панели	Теоретический контур и оси планера. Место крепления агрегата I, II групп точности, функционально связанного с панелью	К регламентным агрегатам — при предполетной подготовке и выполнении регламентных работ (к фильтрам)	Увязочно-компоновочная схема монтажной зоны. Объемный плаз монтажной зоны. Опытное изделие для панели, расположенной в монтажной зоне		
		Ниша основных стоек шасси			III		Место крепления агрегата I, II групп точности				
I-5	Панель со штуцерами	В любом районе планера	Жестко закрепленные штуцеры	V	I, II, III		Место крепления агрегата I, II групп точности, функционально связанного со штуцером на панели высшей группы точности	—	Увязочно-компоновочная схема. Объемный плаз. Опытные изделия	При агрегатной сборке	

Тип панели	№ варианта	Наименование панели	Район размещения	Номенклатура входящих элементов	Уровень технологической завершенности	Группа точности панели*	База координации		Необходимость подходов к панели в процессе производства, эксплуатации и ремонта	Средства увязки и конструктивно-технологической отработки монтажа панели	Этап установки на серийном изделии	
							мест установки элементов систем на панели **	мест крепления панели на изделии				
Этап рабочего проектирования, разработки и реализации директивного технологического процесса												
II-ИМИТАТОР	II-1	Панель с агрегатами линии давления различных подсистем	Гидроотсек. Отсек двигателя. Ниша основных стоек шасси	Агрегаты. Трубопроводы III группы точности. Соединительная арматура	III	III	Точки крепления панели	Место крепления агрегата I, II групп точности, функционально связанного с агрегатами панели	К технологическим агрегатам — при промывке и проверке на герметичность.	Увязочно-компоновочная схема. Объемный плаз. Опытное изделие	При окончательной сборке	
	II-2	Панель с агрегатами различных линий и подсистем	Воздухозаборник. Подкабинный отсек. Отсек двигателя	Агрегаты. Трубопроводы III группы точности	IV			К регламентным агрегатам — при выполнении регламентных работ				
III — ЭЛЕМЕНТ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНЕРА	III-1	Панель с зарядными штуцерами	Борт фюзеляжа в любом районе планера	Агрегаты (зарядные штуцеры)	V	II	Агрегат высшей группы точности	Теоретический контур и оси планера ***	К агрегатам — при заправке системы и предполетной подготовке (к зарядным штуцерам)	Плоский плаз — для элементов III группы точности	При агрегатной сборке планера	
						III	Точки крепления панели — для агрегатов одной группы точности	Контур элемента планера				
	III-2	Панель с трубопроводами	В районе размещения транзитных магистралей	Трубопроводы II, III групп точности	V	II	Теоретический контур и оси планера		—		При узловой сборке элементов конструкции планера	
						III	Контур элемента планера					
	III-3	Панель со штуцерами	В любом районе планера	Жестко закрепленные штуцеры	V	II	Теоретический контур и оси планера		—		При агрегатной сборке планера	
						III	Контур элемента планера					
	III-4	Панель с крепежными деталями	В любом районе планера	Крепежные детали	V	II	Теоретический контур и оси планера		—		Плоский плаз — для определения положения крепежных деталей	При агрегатной сборке планера.
						III	Контур элемента планера					При узловой сборке элементов конструкции планера
<div>* Группа точности определяется по ОСТ 1.41421—73, по результатам конструктивно-технологической отработки панели на объемном плазе или в опытном изделии.</div> <div>** Точность монтажа элементов системы на панели отрабатывается на плоском плазе.</div> <div>*** Положение панели-элемента конструкции планера определяется на этапе конструктивно-технологической отработки на плоском или объемном плазе.</div>												

Увязка и конструктивно-технологическая отработка монтажей систем бортового оборудования

Наименование компонентов, монтажных (монтажно-сборочных) единиц	Объем выполняемых работ					
	в опытно-конструкторской организации					на серийном заводе
	на макетах объекта	на плоском плазе *	на увязочно-компоновочной схеме (УКС)	на объемном плазе * и ТНС **	на опытных изделиях	на технологическом (эталонном) изделии на изделии головной серии
Районы, монтажные зоны	Определение границ районов планера	—	Нанесение границ и сечений монтажных зон	Отработка монтажных зон (внутри зон и по границам)	Окончательная отработка монтажных зон типа 2, 4, 6 и корректировка границ монтажных зон типа 1, 3, 5	Отработка эталонного монтажа бортовых систем во всех типах монтажных зон Отработка точности агрегатов планера для корректировки положения планерных и системных границ монтажных зон
Комплексы агрегатов, панели	Увязка макетов комплексов функционально связанных агрегатов (II и III уровни технологической законченности)	1. Нанесение крепежных деталей монтажных панелей. 2. Окончательная увязка положения агрегатов, «панелей — элементов конструкции планера» III группы точности	Увязка положения монтажных панелей типа I в монтажной зоне	Окончательная отработка — монтажных панелей типа I; — «панелей-имитаторов» типа II с агрегатами различных систем	Окончательная отработка агрегатов на «панелях — элементах конструкции планера» I и II групп точности	
Агрегаты (готовые и оригинальные)	Увязка макетов агрегатов регламентируемого положения, источников давления и гидроэнергии	Нанесение точек крепления — панелированных агрегатов всех функциональных категорий; — агрегатов регламентируемого положения; — агрегатов источников давления и гидроэнергии	Увязка положения агрегатов всех функциональных категорий — окончательно для непанелируемых агрегатов III группы точности; — предварительно для всех остальных агрегатов	Предварительная отработка положения агрегатов, объединенных на панелях с агрегатами других систем. Окончательная отработка положения непанелируемых агрегатов всех функциональных категорий	Окончательная отработка непанелируемых агрегатов I и II групп точности для зон типа 2, 4, 6 агрегатов, расположенных на «панелях-имитаторах» типа II	
Пакеты трубопроводов	—	Нанесение пакета из трубопроводов III группы точности	Увязка макета из трубопроводов с элементами систем монтажных зон типа 2, 4, 6	Отработка пакета из трубопроводов II группы точности в монтажных зонах типа 1, 3, 5	Окончательная отработка пакета из трубопроводов II группы точности в монтажных зонах типа 2, 4, 6; корректировка пакета из трубопроводов в монтажных зонах типа 1, 3, 5	

Глава I. Обеспечение и оценка технологичности конструкций систем бортового оборудования

Наименование компонентов, монтажных (монтажно-сборочных) единиц	Объем выполняемых работ					
	в опытно-конструкторской организации					на серийном заводе
	на макетах объекта	на плоском плазе *	на увязочно-компоновочной схеме (УКС)	на объемном плазе * и ТНС **	на опытных изделиях	на технологическом (эталонном) изделии на изделии головной серии
Коммуникации (трубопроводы, жгуты, тяги, тросы)	Увязка макетов коммуникаций с макетами агрегатов и комплексов агрегатов	Нанесение — трубопроводов с $d_n \geq 20$ мм; — трубопроводов лимитируемого положения; — трубопроводов регламентируемого положения (магистралей бустеров, цилиндров); — кинематических схем систем механического управления; — коммуникаций электросетей	Предварительная увязка коммуникаций по зазорам с другими элементами монтажных зон типа 2, 4, 6	Отработка положения и конфигурации коммуникаций в монтажных зонах типа 1, 3, 5	Отработка положения и конфигурации коммуникаций в монтажных зонах типа 2, 4, 6. Корректировка коммуникаций на границах монтажных зон типа 1, 3, 5	Отработка эталонного монтажа бортовых систем во всех типах монтажных зон
Арматура и элементы крепления	—	Нанесение — осей мест установки арматуры с $d_{\text{руб}} \geq 20$ мм; — контуров элементов крепления со сложными теоретическими обводами	Увязка контуров элементов крепления и арматуры по зазорам с другими элементами монтажных зон типа 2, 4, 6	Отработка положения арматуры и крепежных элементов в монтажных зонах типа 1, 3, 5	Отработка положения — арматуры и элементов крепления в монтажных зонах типа 2, 4, 6 — крепежных элементов на «панелях-имитаторах» и «панелях-элементах конструкций планера»	Отработка точности агрегатов планера для корректировки положения планерных и системных границ монтажных зон

* Плоские и объемные плазы следует использовать также при окончательной отработке монтажей в зонах и доработках бортовых систем на серийном заводе.

** ТНС — технологический натурный стенд.

пространственных размерных цепей рекомендуется использовать принципиальные аксонометрические схемы (рис. II.1.5).

поновки систем бортового оборудования и определения наиболее рациональных вариантов расположения;

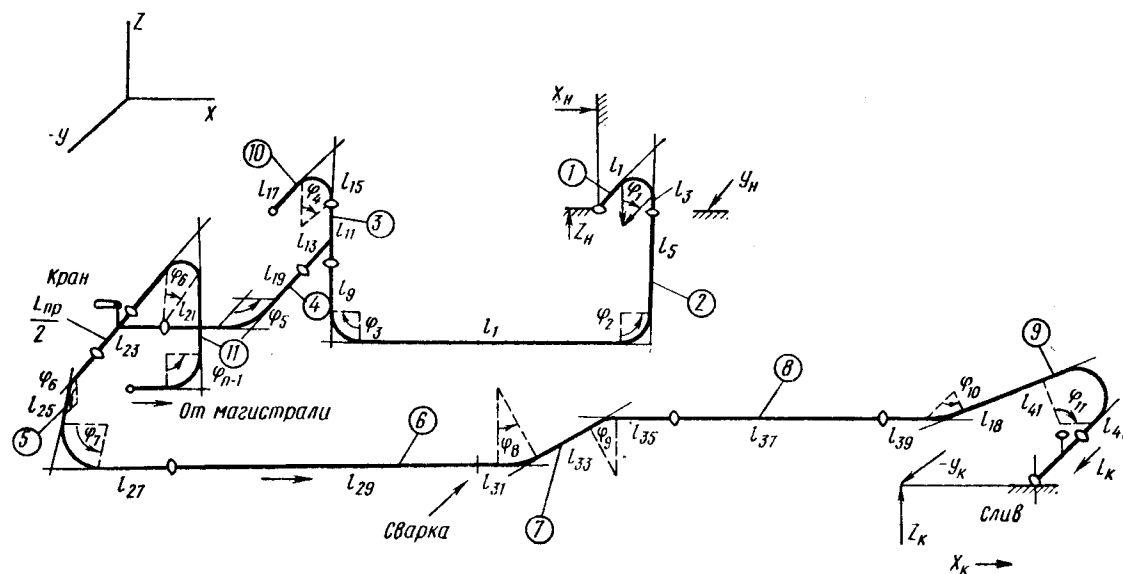


Рис. II.1.5. Принципиальная аксонометрическая схема последовательного расчета и монтажа участка системы:

1, 3, 4, 6, 7, 8, 10 — типовые унифицированные узлы, нормализуемые; 2, 5, 11 — нетиповые узлы с унифицированными размерами; 9 — замыкающая труба; $X_n, Y_n, Z_n, X_k, Y_k, Z_k$ — начальные и конечные координаты трассы.

Пространственная отработка монтажей производится на макетах изделий и агрегатов (рис. II.1.6), объемном плазе (рис. II.1.7), технологических натурных стендах (рис. II.1.8), опытном, технологическом (эталонном) изделии и изделии головной серии в целях

— проверки в реальных условиях (или максимально приближенных к ним) конструктивной ком-

— определения номенклатуры средств, обеспечивающих взаимозаменяемость элементов систем бортового оборудования и коммуникаций;

— отстыковки оснастки, определяющей положение элементов систем и коммуникаций;

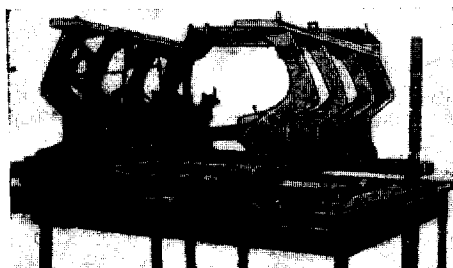


Рис. II.1.6. Инструментальный эталон кабины.

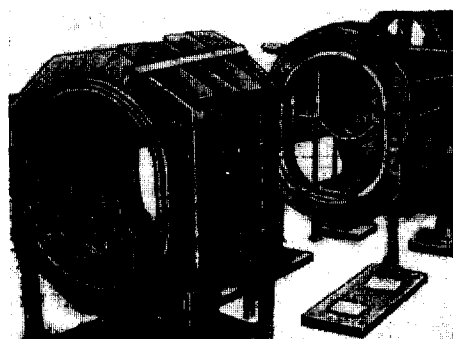


Рис. II.1.7. Объемный плаз фюзеляжа.

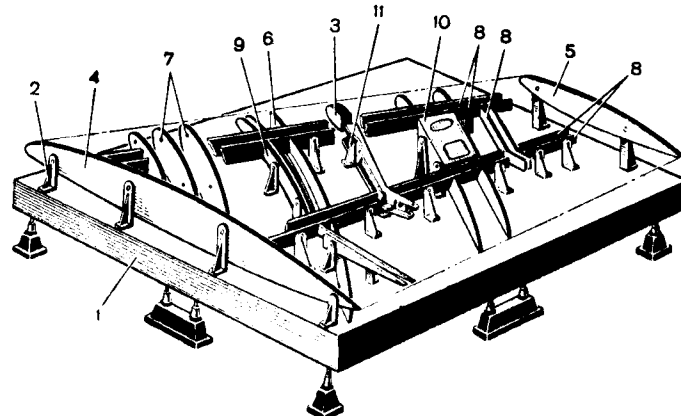


Рис. II.1.8. Технологический натурный стенд:

1 — монтажная панель; 2 — унифицированный кронштейн; 3 — формблок; 4, 5 — базовые шаблоны; 6 — вспомогательный шаблон; 7 — ШКК; 8 — рабочие шаблоны; 9, 10 — пуансоны; 11 — эталон узла.

— определения наиболее рациональных вариантов прокладки коммуникаций;

— создания эталонов труб и жгутов;

— корректировки чертежей по результатам отработки.

Использовать для отработки монтажей объемный плаз или технологическое изделие (отсек) рекомендуется при коэффициенте насыщенности плазера $K_{н.п} \geq 0,8$. При отсутствии объемного плаза

можно использовать монтажные эталоны агрегатов для эталонирования элементов оборудования и коммуникаций (по опыту Иркутского авиационного завода).

Для пространственной отработки систем управления и оборудования изделий в отсеках с малой строительной высотой (типа крыла, стабилизатора и др.) рекомендуется использовать натурный стенд системы управления и оборудования на базе технологического натурального стенда. Ввиду сложности создания натуральных макетов для изделий тяжелого класса рекомендуется использовать плазово-шаблонный способ увязки монтажей или объемный метод увязки на масштабных макетах.

Рекомендуется следующий порядок пространственной конструктивно-технологической отработки монтажей систем бортового оборудования:

— установка приборов электросетей и функционально-энергетических агрегатов трубопроводных систем;

— обработка элементов механических систем управления изделием;

— монтаж и обработка трубопроводов диаметром более 12 мм и патрубков. При обработке труб рекомендуется использовать инструментальные сборно-разборные эталоны из стандартных элементов (рис. II.1.9);

— обработка трубопроводов диаметром менее 12 мм и жгутов электросетей;

— эталонирование монтажей систем;

— уточнение чертежей.

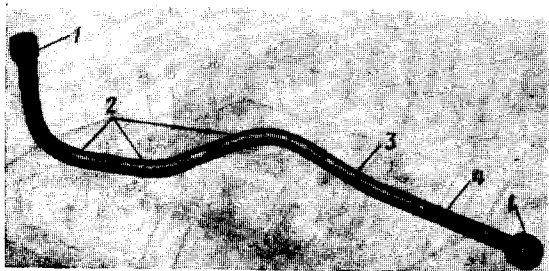


Рис. II.1.9. Инструментальный сборно-разборный макет-эталон из стандартных элементов:

1 — законцовки (ниппельные и резьбовые); 2, 4 — стандартные элементы макет-эталона; 3 — соединительные элементы.

В процессе конструктивно-технологической отработки необходимо следить за тем, чтобы

— готовые изделия и агрегаты систем не закрывали доступ к местам стыков и соединений агрегатов и отсеков планера;

— необходимый в процессе производства или эксплуатации съем одного из элементов системы не

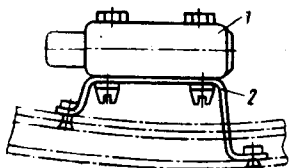


Рис. II.1.10. Типовое крепление готового изделия болтами по анкерным гайкам:

1 — готовое изделие; 2 — кронштейн.

требовал демонтажа расположенных рядом элементов;

— выполнялось типовое крепление готовых изделий и агрегатов систем на кронштейнах или профилях (рис. II.1.10);

— расположение коммуникаций трубопроводных систем исключало возможность попадания рабочей жидкости на аппаратуру и электрожгуты (рис. II.1.11);

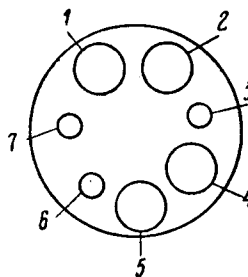


Рис. II.1.11. Схема расположения бортовых систем:

1 — радиоаппаратура; 2 — электросистема; 3 — кислородная система; 4 — гидросистема; 5 — топливная система; 6 — система кондиционирования; 7 — противопожарная система.

— прокладка коммуникаций осуществлялась в обтекателях, гаргротах, нишах, желобах, закрываемых легкосъемными панелями или лючками (рис. II.1.12);

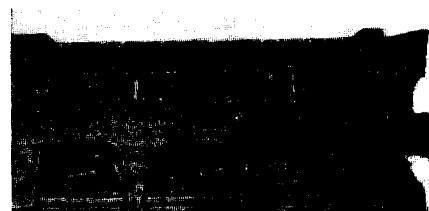


Рис. II.1.12. Расположение трубопроводов под обтекателем.

— разъемы соединений коммуникаций размещались в конструктивно-эксплуатационных или технологических разъемах планера на одной панели (рис. II.1.13);

— доступ к местам монтажа, контроля и регулировки обеспечивался нормализованным инструментом через эксплуатационные или технологические лючки.

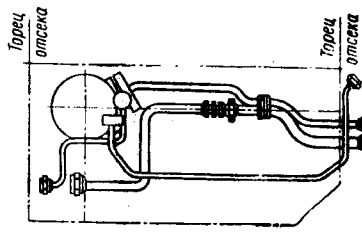


Рис. II.1.13. Технологическое расположение разъемов трубопроводов.

В процессе уточнения чертежей необходимо, чтобы общий вид установочного чертежа бортового оборудования давал полное представление о конструкции, способе установки и координатах мест крепления; здесь же должно быть показано стрелкой направление полета. Координаты мест установки и точек крепления должны быть показаны

Методы обеспечения геометрической взаимозаменяемости элементов систем бортового оборудования

Группа точности монтажных единиц	Метод сборочных баз		Метод компенсации							
	Планерные базы	Монтажные базы	Выбор оптимального варианта компоновки элементов систем	Использование жесткостной характеристики элементов систем	Объединение монтажных единиц	Выбор типа соединения коммуникаций	Выбор типа крепления элементов систем	Выбор конфигурации коммуникаций	Изменение положения монтажных единиц	Расширение допусков на монтаж
I	<p>I группы точности</p> <p>Стыковые узлы по технологическим и конструктивным разъемам планера.</p> <p>Оси и плоскости силовых деталей каркаса в зоне технологического разъема.</p> <p>Оси и плоскости силовых деталей планера, сохраняющие стабильное положение по всей длине детали.</p> <p>Узлы навески агрегатов на силовых деталях</p>									
II	<p>II группы точности</p> <p>Ось симметрии и строительная горизонталь изделия.</p> <p>Оси и плоскости деталей каркаса планера.</p> <p>Теоретический контур изделия и деталей планера</p>	<p>Базовые агрегаты бортовых систем (бустеры, гидроцилиндры и т. п.) и отверстия для их крепления</p> <p>Монтажные панели и отверстия для их крепления</p>	<p>Рациональное размещение элементов системы в целях исключения коммуникаций сложной конфигурации</p>		<p>Сокращение количества монтажных звеньев размерной цепи путем агрегатирования, комплексирования, панелирования</p>	<p>Соединения, обеспечивающие компенсацию (телескопические, сферические, подвижные и т. д.)</p>	<p>Крепление с демпфирующими прокладками</p> <p>Мягкое крепление (хомуты)</p> <p>Плавающие кронштейны</p>	<p>Петли и изгибы коммуникаций, определяемые при эталонировании монтажей (труба-компенсатор)</p>	<p>и т. п.</p>	<p>Дополнительные перемещения соединительной арматуры, приборов за счет овализации и увеличения диаметров установочных отверстий, регулируемых тяг, тросов</p>
III	<p>III группы точности</p> <p>СО и ТО деталей планера.</p> <p>Оси и плоскости промежуточных деталей</p>			<p>Элементы коммуникаций малой жесткости</p>						

только относительно физических баз (шпангоутов, лонжеронов и др.), от теоретических осей допускается показывать только справочные размеры.

Примечание. Специфические особенности конструктивно-технологической отработки различных систем бортового оборудования приведены во 2-й, 5-й и 6-й главах.

Важным этапом обеспечения геометрической взаимозаменяемости является конструктивно-технологический анализ чертежей систем бортового оборудования, в процессе которого определяются методы и устанавливается предварительная номенклатура средств, обеспечивающих взаимозаменяемость и постоянство мест установки оборудования и прокладки коммуникаций.

В процессе конструктивно-технологического анализа чертежей необходимо руководствоваться следующими положениями:

- при монтаже недопустимо выполнять сверловочные и подгоночные работы, связанные с образованием стружки, поэтому детали крепления элементов бортового оборудования (кронштейны, уголки и т. п.) следует включать в чертежи планера для установки их в агрегатно-сборочных цехах; отверстия в деталях для анкерных гаек, замков и болтов крепления элементов оборудования, вырезы под трубопроводы, жгуты и арматуру предусматривать окончательных размеров;

- взаимозаменяемость монтажей систем бортового оборудования внутри монтажных зон обеспечивать с учетом требований ОСТ 1.41420—73 ÷ ОСТ 1.41439—73, принимая окончательное решение и корректируя чертежи по результатам конструктивно-технологической отработки (табл. II.1.5);

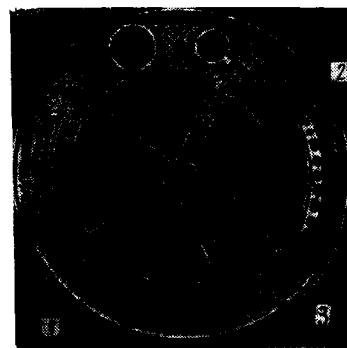


Рис. II.1.14. Приспособление для координации положения коммуникаций, проходящих через стык отсеков:

1 — плита; 2 — фиксаторы на базе агрегата; 3 — фиксаторы трубопроводов.

к точности изготовления соединяемых элементов;

- для обеспечения постоянства места установки элементов систем бортового оборудования и коммуникаций предусматривать сборку по сборочным отверстиям (СО) и отверстиям окончательного диаметра, установку по фиксаторам сборочной оснастки, монтажным приспособлениям, рабочим шаблонам (РШ) и макетам готовых изделий;

- для обеспечения взаимной увязки положения устанавливаемого в монтажной зоне оборудования

и прокладываемых коммуникаций следует использовать зональные приспособления;

- рекомендуется использовать переналаживаемую технологическую оснастку (рис. II.1.15);

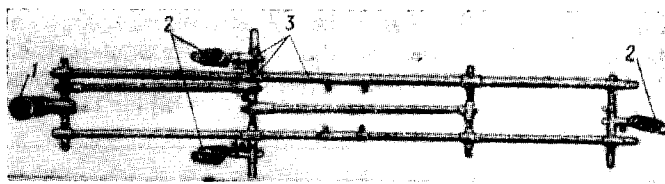


Рис. II.1.15. Монтажно-сборочное приспособление для фиксации патрубков:

1 — фиксатор патрубка; 2 — базовые фиксаторы; 3 — унифицированные элементы каркаса приспособления.

- для обеспечения взаимозаменяемости, постоянства установки элементов систем бортового оборудования и прокладки коммуникаций учитывать точность взаимной увязки и изготовления заготовительной, сборочной и монтажной оснастки, а также предусматривать оптимальную последовательность работ в монтажной зоне и на ее границах;

- для обеспечения межзональной взаимозаменяемости предусматривать эталоны разъемов коммуникаций в зоне стыка отсеков для отстыковки эталонной и рабочей оснастки в целях ее периодической проверки для ведущего и ведомого заводов.

Наиболее сложными, с точки зрения обеспечения взаимозаменяемости, являются трубопроводные системы, взаимозаменяемость которых должна обеспечиваться их рациональной компоновкой, выбором единых конструктивно-технологических баз в монтажных зонах, увязкой конструкторской документации и конструктивно-технологической отработкой монтажей систем, точностью и стабильностью технологических процессов изготовления элементов систем и выполнения посадочных мест на планере, оптимальной последовательностью работ в монтажной зоне и на ее границах.

При назначении методов и средств обеспечения взаимозаменяемости и постоянства мест установки элементов систем бортового оборудования необходимо учитывать требования точности и экономичности (см. схему II.1.5).

Рекомендуется следующий порядок определения оптимального варианта средств, обеспечивающих постоянство мест установки оборудования:

- рассчитать суммарную погрешность установки детали планера, образующей посадочное место под элементы оборудования $\delta_{сб}$;

- учесть погрешность установки детали или элемента оборудования по СО или отверстиям окончательного диаметра $\delta_{сб} + \delta_{со}$;

- сравнить полученное значение погрешности на установку элемента оборудования ($\delta_{сб} + \delta_{со}$) с допуском на установку данного элемента по чертежу δ .

При положительных результатах сравнения прекратить дальнейший поиск средств и способов обеспечения постоянства установки оборудования. Отразить в технической документации принятый способ.

Зак. 40

Наименование подсистем		Агрегаты										Исполнительные механизмы	Общее количество типоразмеров агрегатов Σ_T		Показатель уровня стандартизации и унификации $K_{пр} = \frac{\Sigma_T - \Sigma_0}{\Sigma_T} \times 100 \%$	Обоснование отклонения $K_{пр}$ от нормы																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		вспомогательные			аварийные																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		командные	обслуживания	защиты	контроля	источники гидроэнергии	обслуживания	контроля	кран электромагнитный	агрегат управления	редуктор гидравлический	клапан согласования	клапан редукционный	клапан обратный	клапан предохранительный	дроссель	фильтр	сигнализатор давления	манометр	мультипликатор	гидроаккумулятор	переключатель аварийный	штуцер зарядный	манометр	цилиндр управления	механизм разворота	поворотное соединение	гидрозамок																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Периодического действия	с типовыми потребителями	управления выпуском и уборкой основных и передней стоек шасси	1	1	2	1	6	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

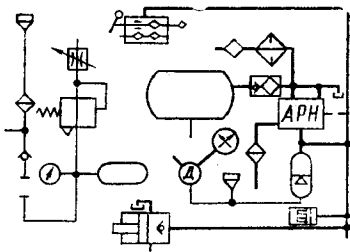
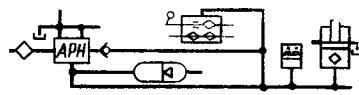
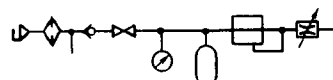
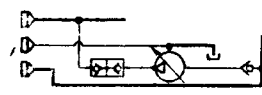

Примечания:
1. Если в нескольких линиях блока питания установлен агрегат одного типоразмера, то он записывается в любую из этих линий.
2. К оригинальным относятся готовые агрегаты, имеющие I стадию разработки (см. «Указатель технической информационной картотеки», НИИСУ, 1969).

ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОК ГИДРОСИСТЕМЫ* ИЗДЕЛИЯ
НА СТАДИИ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

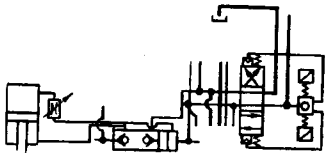
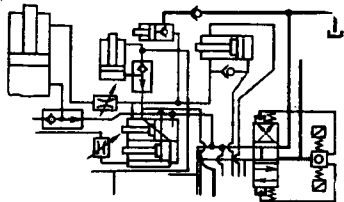
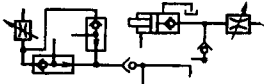
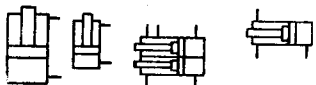
Подсистема (блок питания)	№ п/п	Агрегат регламентируемого положения и место его установки на изделии	Элементы компоновки, шифр агрегатов	Кол-во агрегатов, шт.	Масса агрегата, кг	Габаритные размеры агрегата, мм	Характеристика компоновки							Район размещения компоновки	Наличие подходов	Оценка и рекомендации	
							уровень технологичности	нагружение входящих линий	внешние трубопроводы и арматура		возможные варианты объединения агрегатов в комплексы	№ варианта по ТР-597—72					
									категория нагружения	количество							
Блоки питания																	
Бустерная система	1	Насосы установлены на двигателях (правом и левом)	Насос НП-96А	2	8,0	320×140	IV	A	A	1	—	—	р. 11Б—11В	Обеспечен подход при наземном обслуживании	Компоновка рациональна		
	2		Шланги	4													
			Трубопровод														
			Арматура														
			Клапаны подключения наземного насоса:														
			нагнетания	1	0,6	210×103×257	IV	B	A B	1 4 1	Все агрегаты могут быть объединены в панель—элемент конструкции планера	—				р. 11—11Б	
			слива	1	0,7	190×110×110											
			всасывания	1	0,4	282×91×222											
			Манометр ТМ-300	1	0,35	150×60											
			Клапан наполнения	1	0,4	100×60											
Зарядный штуцер гидроаккумулятора	1	0,1	43×28														
Обратный клапан	1	0,195	75×1,5×32														
Трубопровод																	
Арматура																	
Подсистемы управления самолетом																	
Подсистема управления элеронами	1	Бустер элерона, р. 10	Бустер элерона	1	25	101×104×249	II	—	A	2	—	IX—1	р. 10—10А		Компоновка рациональна		
			Трубопровод							B	2						
Подсистема управления рулем поворота	1	Бустер руля поворота, р. 14	Бустер руля поворота	1	25	895×110×208	II	—	A	2	—	IX—1	р. 13А—14		То же		
			Трубопровод							B	2						
Подсистема управления стабилизаторами	1	Бустер стабилизатора, р. 14	Бустер стабилизатора	2	25	884×118×201	II	A	A	2	—	IX—1	р. 14		»		
			Трубопровод						B	B	2						

* Типаж функциональных компоновок гидросистем приведен в приложении 3.

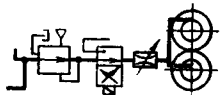
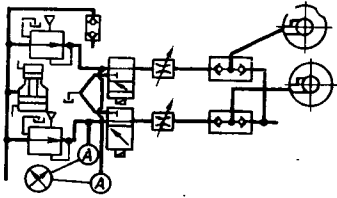
ТИПАЖ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОК ГИДРОСИСТЕМ ИЗДЕЛИЙ СРЕДНЕГО КЛАССА

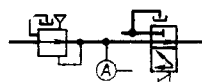
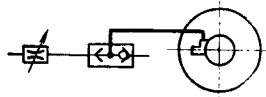
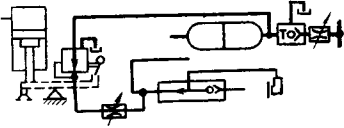
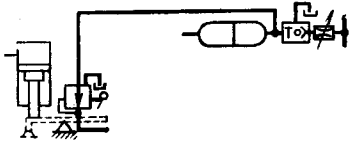
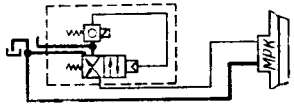
№ вариан- та	Функциональная компоновка	Схема (по ГОСТ 2.780—68÷ ГОСТ 2.783—68; ГОСТ 2.721—68)	Характеристика				Типовой район раз- мещения	Отличительные особенности компоновки	
			Уровень техноло- гической закон- ченно- сти	Категории нагружения входящих линий	Внешние трубопро- воды				Макси- мальный процент комплексиро- вания и панелирова- ния**
кате- гория нагру- жения*	коли- чест- во								
I Блок питания									
I—1	Комплекс агрегатов, входящих в блок без линии «насос — зарядный штуцер»		II	A — линия нагружения Б — линия зарядки гидроаккумуляторов В — линия слива, линия всасывания, линия подавливания	A B	3 5	80	Отсек размещения бортовых систем	Предусматривает технологичность монтажа за счет высокого уровня технологической законченности
I—2	Комплекс агрегатов, составляющих линию нагнетания, без линии «насос — зарядный штуцер»		III	A — линия нагнетания В — линия слива	A B	3 7	100	Отсек размещения бортовых систем	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня панельирования и надежность за счет объединения агрегатов по линии нагружения категории А
I—3	Комплекс агрегатов, составляющих линию подавливания, без линии «гидробак — стравливающий клапан»		III	В — линия подавливания	B	2	100	Ниша основных стоек шасси	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня комплексирования и панельирования
I—4	Комплекс агрегатов, входящих в линию «насос — зарядный штуцер»		IV	A — линия нагнетания Б — линия всасывания, линия слива	A B	2 4	—	Двигательный отсек	Предусматривает надежность за счет объединения агрегатов по линии нагружения категории А
I—5	Комплекс агрегатов, входящих в линию нагнетания, с большим количеством соединений		IV	A — линия нагнетания В — линия слива	A B	3 4	100	Отсек размещения бортовых систем	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня панельирования и надежность за счет объединения агрегатов по линии нагружения категории А

II Подсистема управления выпуском — уборкой стоек шасси

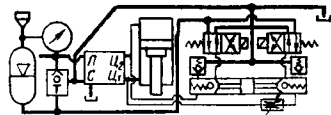
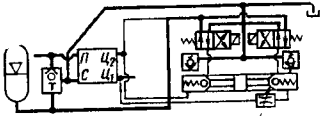

II—1	Комплекс агрегатов, составляющих подсистему управления передней стойкой шасси		II	Б — рабочая линия В — аварийная линия	Б В	2 1	66	Ниша передней стойки шасси	Предусматривает технологичность монтажа за счет высокого уровня технологической законченности
II—2	Комплекс агрегатов, составляющих подсистему управления основных стоек шасси		III ¹	А — линия нагнетания Б — рабочая линия В — линия слива, аварийная линия	А Б В	1 8 2	55	Ниша основных стоек шасси	Предусматривает технологичность монтажа за счет высокого уровня технологической законченности
II—3	Комплекс агрегатов, входящих в рабочую линию, без распределительного крана и цилиндров		IV	Б — рабочая линия В — линия слива, аварийная линия	Б В	6 2	100	Отсек размещения бортового оборудования	Предусматривает технологичность монтажа за счет высокого уровня панелирования
II—4	Комплекс цилиндров, обеспечивающих выпуск — уборку основных стоек шасси		V	Б — рабочая линия В — аварийная линия	Б В	10 2	—	Ниша основных стоек шасси	Компоновка целевого назначения

III Подсистема управления основным торможением колес шасси

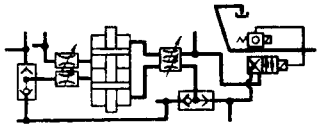
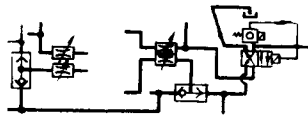
III—1	Комплекс агрегатов, составляющих подсистему торможения колес передней стойки шасси		II	А — линия нагнетания до распределения кранов Б — рабочая линия от распределения кранов до исполнительного механизма В — линия слива	А В	1 1	75	Ниша передней стойки шасси	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня технологической законченности
III—2	Комплекс агрегатов, составляющих подсистему торможения колес основных стоек шасси		III ¹	А — линия нагнетания до распределения кранов Б — рабочая линия от распределения кранов до исполнительного механизма В — линия слива, всасывания	А В	2 3	75	Ниша основных стоек шасси	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня технологической законченности

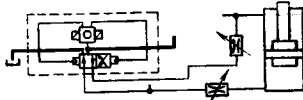
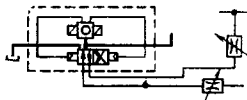
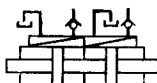

№ вариан- та	Функциональная компоновка	Схема (по ГОСТ 2.780—68÷ ГОСТ 2.783—68; ГОСТ 2.721—68)	Характеристика				Типовой район размеще- ния	Отличительные особенности компоновки	
			Уровень техноло- гической закон- ченно- сти	Категории нагружения входящих линий	Внешние трубопро- воды				Макси- мальный процент комплекс- сирования и панели- рования**
кате- гория наг- руже- ния*	коли- чест- во								
III—3	Комплекс агрегатов, входящих в линию нагнетания подсистемы управ- ления торможением колес основных стоек шасси		III	A — линия нагнетания Б — рабочая линия В — линия слива	A В	2 2	100	Отсек раз- мещения бортового оборудова- ния	Предусматривает тех- нологичность за счет вы- сокого уровня панельиро- вания и надежность за счет объединения агрега- тов по линии нагружения категории А
III—4	Комплекс агрегатов, входящих в рабочую ли- нию основных стоек шасси		IV—V	A — линия нагнетания Б — рабочая линия В — линия аварийная	A В	1 3	100	Стойка шасси	Предусматривает тех- нологичность за счет вы- сокого уровня панельиро- вания
IV Подсистема управления аварийным торможением колес шасси									
IV—1	Комплекс агрегатов, составляющих подси- стему		III	A — линия нагнетания Б — рабочая линия В — линия слива, ава- рийная линия	A Б В	2 1 1	66	Ниша ос- новных стоек шасси	Предусматривает тех- нологичность монтажа за счет высокого уровня технологической закон- ченности
IV—2	Комплекс агрегатов, входящих в линию дав- ления, и цилиндр авто- матического торможения		IV	A — линия нагнетания Б — рабочая линия ав- томатического торможе- ния В — сливная линия, аварийная линия	A Б В	2 1 2	100	Отсек раз- мещения бортового оборудова- ния	Предусматривает тех- нологичность за счет 100%-го панельирования
V Подсистема управления механизмом разворота передней стойки шасси									
V—1	Комплекс агрегатов, со- ставляющих подсистему		II	A — линия нагнетания Б — рабочая линия В — линия слива	A В	1 1	—	Ниша передней стойки шасси	Предусматривает тех- нологичность монтажа за счет высокого уровня технологической закон- ченности

VI Подсистема управления клином воздухозаборника

VI-1	Комплекс агрегатов, составляющих подсистему		II ²	<p>А — линия нагнетания и рабочая линия исполнительного цилиндра</p> <p>Б — линия зарядки гидроаккумулятора</p> <p>В — линия слива</p>	<p>А 1</p> <p>В 2</p>	80	Воздухозаборник	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня технологической законченности
VI-2	Комплекс агрегатов, составляющих линию нагнетания		III	<p>А — линия нагнетания</p> <p>Б — линия зарядки гидроаккумулятора</p> <p>В — линия слива</p>	<p>А 3</p> <p>Б 1</p> <p>В 2</p>	100	Отсек размещения бортовых систем	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня панельирования и надежность за счет объединения агрегатов по линии нагружения категории А
VI-3	Комплекс агрегатов, составляющих линию зарядки гидроаккумуляторов		IV	Б — линия зарядки гидроаккумулятора	Б 1	100	То же	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня панельирования

VII Подсистема управления створками воздухозаборника

VII-1	Комплекс агрегатов, составляющих подсистему		II ²	<p>А — линия нагнетания и рабочая линия от командного агрегата до исполнительного цилиндра</p> <p>Б — рабочая линия от распределительного крана управления шасси</p> <p>В — линия слива, линия аварийного управления</p>	<p>А 2</p> <p>Б 4</p> <p>В 5</p>	85	Воздухозаборник	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня технологической законченности
VII-2	Комплекс агрегатов, входящих в линию нагнетания и линию «распределительный агрегат — исполнительный механизм»		IV	<p>А — линия нагнетания и рабочая линия до исполнительного агрегата</p> <p>В — линия слива, линия аварийного управления</p>	<p>А 4</p> <p>В 4</p>	100	Отсек размещения бортовых систем	Предусматривает технологичность за счет высокого уровня панельирования

№ вариан- та	Функциональная компоновка	Схема (по ГОСТ 2.780—68+ ГОСТ 2.783—68; ГОСТ 2.721—68)	Характеристика				Типовой район раз- мещения	Отличительные особенности компоновки	
			Уровень техноло- гической закон- ченно- сти	Категории нагружения входящих линий	Внешние трубопро- воды				Макси- мальный процент комплексиро- вания и панелиро- вания**
					кате- гория наг- руже- ния*	коли- чест- во			
VIII Подсистема управления закрылками									
VIII—1	Комплекс агрегатов, со- ставляющих подсистему		III	A — линия нагнетания Б — рабочая линия В — линия слива	A Б В	2 3 2	80	Крыло	Предусматривает тех- нологичность за счет вы- сокого уровня технологи- ческой законченности
VIII—2	Комплекс агрегатов, со- ставляющих рабочую ли- нию, без цилиндров		IV	A — линия нагнетания Б — рабочая линия В — линия слива	A Б В	1 3 1	100	Отсек раз- мещения бортового оборудова- ния	Предусматривает тех- нологичность за счет вы- сокого уровня панельиро- вания
IX Подсистема управления рулем поворота, стабилизатором, элеронами									
IX—1	Комплекс агрегатов, со- ставляющих подсистему		II	A — линия нагнетания В — линия слива	A В	2 2	—	Крыло, стабилиза- торы, хво- стовой отсек	Предусматривает тех- нологичность за счет вы- сокого уровня технологи- ческой законченности
X Подсистема управления тормозными щитками									
X—1	Комплекс агрегатов, со- ставляющих подсистему		I	A — линия нагнетания Б — рабочая линия В — линия слива	A В	1 1	—	Район установки тормозных щитков	Предусматривает тех- нологичность за счет вы- сокого уровня технологи- ческой законченности

* Классификация линий гидравлических систем по категориям нагружения трубопроводов приведена в приложении 4.

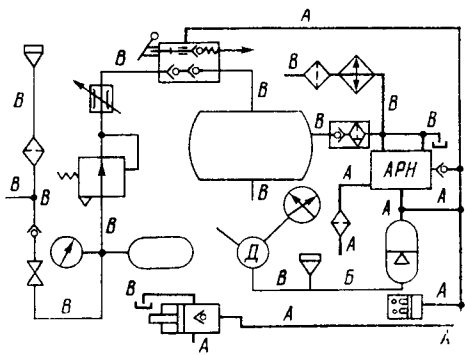
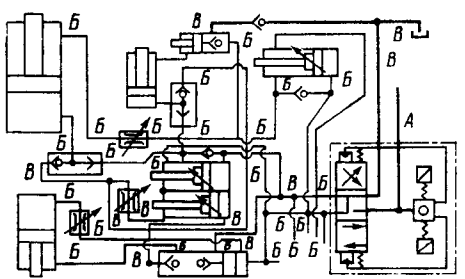
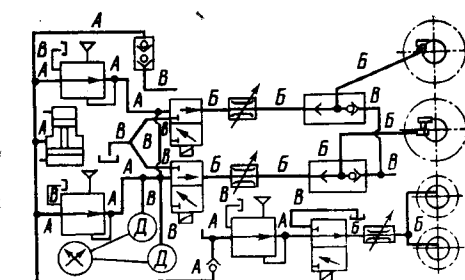
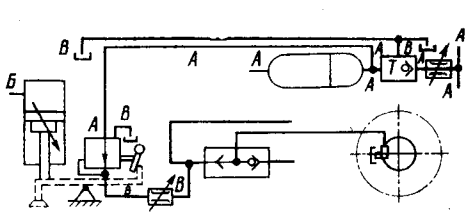
** Процент панельирования определен по результатам анализа гидросистем изделий.

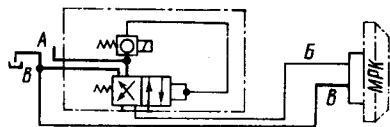
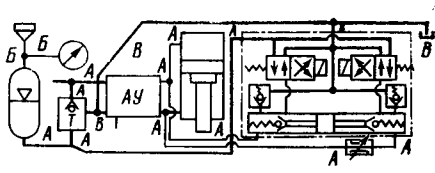
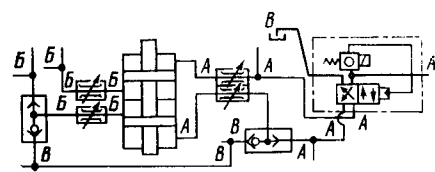
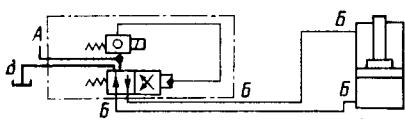
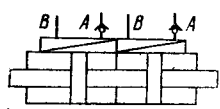
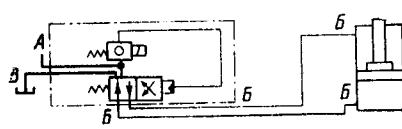
Примечания:

1. Для вариантов II-2, III-2, IV—I УТЗ является наиболее высоким в связи с необходимостью одновременной отработки систем выпуска — уборки шасси и т. п. обеих стоек.

2. Оработка функциональных компоновок (варианты VI—I и VII—I) производится совместно.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗДЕЛИЙ СРЕДНЕГО КЛАССА ПО КАТЕГОРИЯМ НАГРУЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Структура гидравлической системы	Схема (по ГОСТ 2.780—68 ÷ ГОСТ 2.783—68; ГОСТ 2.721—68)	Линии гидравлических систем по категориям нагружения		
		А	Б	В
		при напряжении в трубопроводах		
		$\sigma^A + \sigma^B + \sigma^{BM} + \sigma^T + \sigma^3 + \sigma^M + \sigma^{\Delta A} + \sigma^{PY}$	$\sigma^{\Delta A} + \sigma^{PY} + \sigma^T + \sigma^3 + \sigma^M + \sigma^{BM}$	$\sigma^{BM} + \sigma^T + \sigma^M + \sigma^3$
Блок питания		Нагнетания	Зарядки гидроаккумуляторов	Слива, всасывания, наддува гидробака, дистанционного контроля
Подсистема управления		Нагнетания до командного агрегата	Рабочие от командного агрегата до исполнительных цилиндров	Слива от командного и вспомогательных агрегатов, аварийного управления
		Нагнетания до распределительных кранов	Рабочие от редукторов до исполнительных механизмов	Слива от редукторов и вспомогательных агрегатов, дистанционного контроля
		Нагнетания до распределительных кранов	—	Аварийного торможения колес

Структура гидравлической системы	Схема (по ГОСТ 2.780—68÷ГОСТ 2.783—68; ГОСТ 2.721—68)	Линии гидравлических систем по категориям нагружения			
		A	B	B	
		при напряжении в трубопроводах			
		$\sigma^{\Delta} + \sigma^B + \sigma^{BM} + \sigma^T + \sigma^{\Delta\Delta} + \sigma^M + \sigma^{\Delta\Delta} + \sigma^{ГУ}$	$\sigma^{\Delta\Delta} + \sigma^{ГУ} + \sigma^T + \sigma^{\Delta} + \sigma^M + \sigma^{BM}$	$\sigma^{BM} + \sigma^T + \sigma^M + \sigma^{\Delta}$	
Подсистема управления	механизмом разворота передней стойки шасси		Нагнетания до командного агрегата	Рабочая от командного агрегата до исполнительного механизма	Слива от командного и исполнительного механизмов
	клином воздухозаборника		Нагнетания и рабочие исполнительных агрегатов и гидроаккумулятора	Зарядки гидроаккумулятора	Слива от командных агрегатов
	створками воздухозаборника		Нагнетания и рабочие до исполнительных цилиндров	Рабочие от командного агрегата до исполнительного цилиндра	Слива от командного агрегата, аварийного управления
	закрылками		Нагнетания до командного агрегата	Рабочие от командных агрегатов до исполнительных цилиндров	Слива от командного агрегата
	стабилизатором, элеронами, рулем поворота		Нагнетания до исполнительных цилиндров	—	Слива от исполнительных цилиндров
	тормозными щитками		Нагнетания до командного агрегата	Рабочие от командных до исполнительных агрегатов	Слива от командного агрегата

σ^{Δ} — от сил внутреннего давления жидкости;

$\sigma^{\Delta\Delta}$ — от повторных нагрузок в результате перехода с одного режима на другой;

σ^B — от вибрации пульсирующего давления жидкости;

σ^{BM} — от вибрации двигателей;

$\sigma^{ГУ}$ — от нестандартных нагрузок при срабатывании распределителей, потребителей;

σ^T — от температурных нагрузок, возникающих при нагреве конструкции;

σ^{Δ} — от эксплуатационных нагрузок, возникающих при деформации конструкции под действием аэродинамических сил;

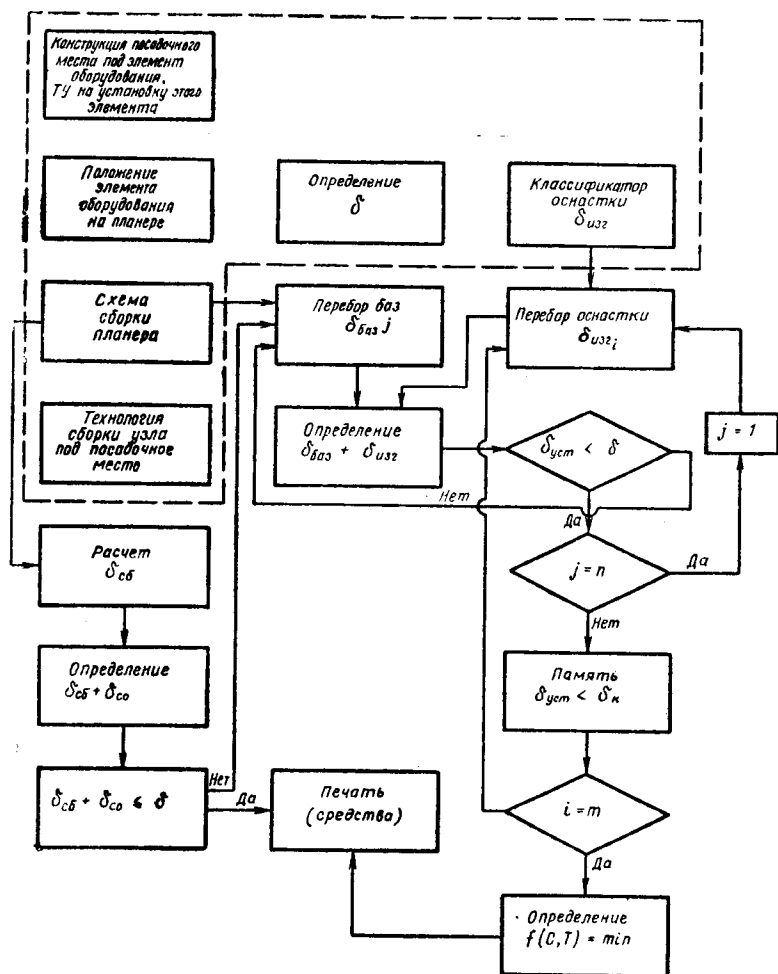
σ^M — от монтажных неточностей.

σ^{Δ} — от сил внутреннего давления жидкости;
 $\sigma^{\Delta\Delta}$ — от повторных нагрузок в результате перехода с одного режима на другой;
 σ^B — от вибрации пульсирующего давления жидкости;
 σ^{BM} — от вибрации двигателей;
 $\sigma^{ГУ}$ — от нестандартных нагрузок при срабатывании распределителей, потребителей;
 σ^T — от температурных нагрузок, возникающих при нагреве конструкции;
 σ^{Δ} — от эксплуатационных нагрузок, возникающих при деформации конструкции под действием аэродинамических сил;
 σ^M — от монтажных неточностей.

При отрицательных результатах сравнения путем перебора баз и видов оснастки и определения суммарной погрешности установки элемента оборудо-

Схема II.1.5

Блок-схема алгоритма



Условные обозначения

δ — допуск на установку элемента оборудования по чертежу;
 $\delta_{сб}$ — суммарная погрешность установки детали планера, образующей посадочное место под оборудование;
 $\delta_{со}$ — погрешность установки детали монтажного узла или элемента оборудования по СО или отверстиям окончательного диаметра;
 $\delta_{баз}$ — суммарная погрешность установки базового элемента приспособления на планере;
 $\delta_{изг}$ — суммарная погрешность изготовления средств оснастки (приспособлений), обеспечивающих постоянство установки оборудования;
 $\delta_{уст}$ — суммарная погрешность установки элемента оборудования по оснастке.

вания по оснастке $\sigma_{уст} = \sigma_{баз} + \sigma_{изг}$ и сравнения ее с допуском по чертежу δ выбирают приемлемые по требованию к точности варианта средства, обеспечивающие постоянство установки оборудования. Сравнивают выбранные с учетом требований к точности средства обеспечения постоянства установки оборудования по стоимости и определяют экономически целесообразный вариант, для которого $f(C, T) = \min$. Результаты отражают в технической документации.

Важным фактором при сборке и эксплуатации изделия является обеспечение необходимых и удобных условий регулировки систем бортового оборудования, существенно влияющих на технологичность конструкции.

Предусматриваются условия применения высокопроизводительных технологических процессов сборки, монтажа, контроля и испытания как для многодетальных сборочных (монтажно-сборочных) единиц, так и для соединений (разъемных и неразъемных) двух деталей между собой, например, обеспечение условий для пайки соединений трубопроводов при монтаже системы на изделии, контроль монтажных напряжений в разъемных соединениях, использование оснастки для монтажа, применение автоматических средств контроля и т. п.

Ограничение и сокращение номенклатуры конструкционных материалов, используемых в составных частях изделий, упрощает подготовку и материально-техническое снабжение производства изделия.

Для изделий типа деталей при отработке конструкции на технологичность решаются следующие задачи:

- рациональный выбор конструктивных баз, обеспечивающий возможность их использования в качестве технологических, что позволяет повысить точность изготовления за счет исключения погрешности базирования;
- правильная простановка размеров, обеспечивающая требуемую точность функциональных параметров и методов их обеспечения;
- применение высокопроизводительных технологических процессов, позволяющих снизить трудоемкость и сократить время изготовления;
- четкая классификация конструкций деталей по определенным группам. На каждого представителя группы составляется типовой технологический процесс, что позволяет сократить период технологической подготовки производства и создать условия для использования наиболее производительного оборудования и технологического оснащения.

Глава 2. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В процессе эскизного проектирования следует разработать пневмогидравлическую схему различных систем бортового оборудования и предварительную и рабочую монтажные схемы; осуществить макетирование систем; утвердить эталоны монтажа

трубопроводных коммуникаций. Такой порядок проектирования трубопроводных коммуникаций используется во многих опытно-конструкторских бюро.

Пневмогидравлическая схема — это чертеж, на котором квадратами обозначены агрегаты систем, а линиями — пневмогидравлические связи между

ними,— является источником информации при проектировании трубопроводных коммуникаций. При разработке пневмогидравлической схемы можно определить расходы жидкости и газа по отдельным линиям, диаметры, толщины трубопроводов и массу системы, а также давление и температуру среды, транспортируемой по каждому трубопроводу.

На этом этапе проектирования можно предварительно оценить трубопроводные коммуникации путем сравнения нескольких вариантов и выбрать оптимальный, отвечающий следующим требованиям:

— число агрегатов в системе и число связей между ними должно быть минимальным;

— трубопроводы должны иметь минимальные диаметры и минимальную массу.

При выборе типа агрегата следует использовать максимальное количество стандартных агрегатов, позволяющих повысить их преемственность и сократить общее количество типоразмеров.

При проектировании необходимо стремиться к размещению трубопроводов и агрегатов систем таким образом, чтобы иметь возможность в процессе изготовления изделия производить автономный монтаж, проверку и испытание участков, систем, обеспечивая более высокий уровень законченности.

Для улучшения контролепригодности систем предусмотрены бортовые разъемы для подключения наземного оборудования при проведении контрольно-испытательных работ.

РАБОЧЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

При разработке конструкций систем трубопроводов необходимо предусматривать возможность испытания и монтажа систем или их участков в отдельных агрегатах планера. С этой целью разъемы трубопроводов проектируют в местах разъемов агрегатов планера и предусматривают возможность предварительной сборки трубопроводов и шлангов в отдельные пакеты (на верстаке в приспособлении) с установкой промежуточных деталей их крепления, проверкой на герметичность с последующим монтажом такого пакета на изделии (рис. II.2.1).

Пакеты трубопроводов в планере прокладывают таким образом, чтобы основные и аварийные линии системы располагались отдельно одна от другой (рис. II.2.2).

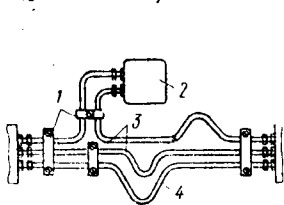


Рис. II.2.1. Объединение трубопроводов в пакеты при компоновке монтажа:

1 — колодки крепления; 2 — агрегаты обслуживания; 3 — трубопроводы; 4 — компенсационный выгиб.

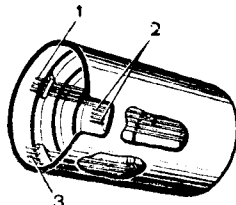


Рис. II.2.2. Прокладка пакетов трубопроводов в агрегате планера:

1 — трубопроводы аварийной системы; 2 — трубопроводы основной системы; 3 — трубопроводы бустерной системы.

Трубопроводы размещают в специальных желобах и съемных коробах с доступом к ним с внешней стороны изделия (рис. II.2.3). Коммуникации трубопроводов должны быть наиболее короткими, их

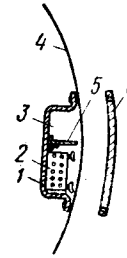


Рис. II.2.3. Размещение трубопроводов в желобах:

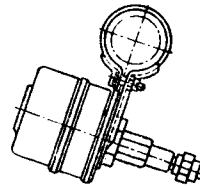
1 — желоб; 2 — колодка с трубопроводами; 3 — отсек для размещения электрожгутов; 4 — обвод фюзеляжа; 5 — предельная перегородка желоба; 6 — крышка желоба.

прокладывают с наименьшим количеством изгибов, без «карманов» и, по возможности, параллельно друг другу. Крепят трубопроводы к элементам конструкции планера, а не к трубопроводам и агрегатам бортового оборудования (рис. II.2.4).

Для компенсации деформаций трубопроводов при соединении с подвижными элементами конструкции бортового оборудования рекомендуется на трубопроводах диаметром до 12 мм предусматривать компенсаторы и компенсирующие спирали (рис. II.2.5).

Нетехнологично

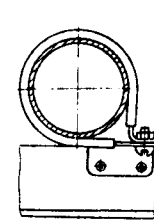
Технологично



а

Рис. II.2.4. Крепление трубопроводов:

а — к датчику; б — к конструкции изделия.



б

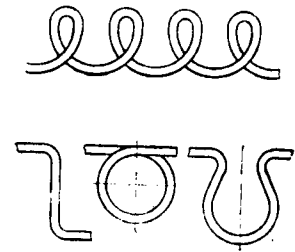


Рис. II.2.5. Компенсирующие спирали трубопровода.

Оптимальные расстояния между элементами крепления трубопроводов, элементами крепления и соединениями трубопроводов из различных материалов следует выбирать по табл. II.2.1.

Таблица II.2.1

Расстояние между колодками (хомутами) для труб (из всех материалов)	Расстояние от разъема до колодок, мм, для труб	
	стальных	из цветных металлов и титановых сплавов
Не более 400 мм для изделия легкого класса и не более 500—600 мм для изделий других классов	Не более 200—250	Не более 300

Технологичной конструкцией крепления колодок к кронштейнам или к элементам планера следует считать крепление болтами на анкерных гайках (рис. II.2.6).

Наиболее удобно размещать системы вблизи плоскостей разъема агрегатов планера, так как обеспе-

чивается хороший доступ для выполнения работ по их монтажу и испытанию.

Количество узлов и агрегатов бортового оборудования одного назначения должно быть минимальным в целях сокращения количества и общей длины трубопроводов и количества соединений.

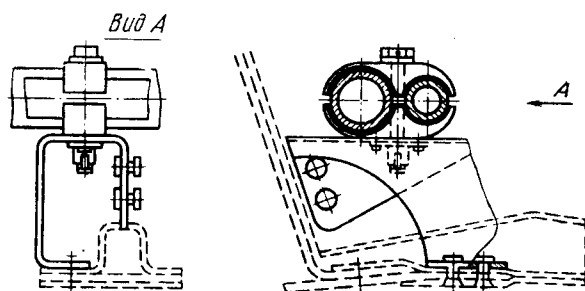


Рис. 11.2.6. Крепление колодок к элементу конструкции на анкерных гайках.

Штуцеры и краны, вынесенные на борт планера, по возможности, должны быть сосредоточены в одном месте для упрощения подключения шлангов испытательных стендов.

Агрегаты бортового оборудования с криволинейными поверхностями (баллоны, бачки, гидроаккумуляторы, маслобаки и т. п.) следует устанавливать на ложементы или колодки с хомутами (рис. 11.2.7).

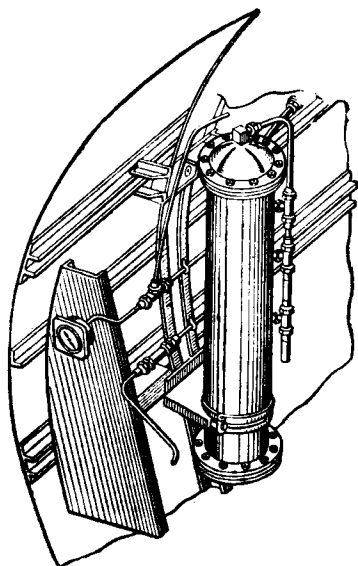


Рис. 11.2.7. Установка аварийного гидроаккумулятора.

При разработке монтажных схем необходимо определить оптимальную схему монтажа шланга.

На рис. 11.2.8—11.2.19 приведены типовые схемы монтажа шлангов.

Соединения трубопроводов являются нагруженными элементами коммуникаций, так как они работают при сложных асимметричных циклах нагружения. В зависимости от назначения и режимов работы системы тип соединения выбирают с учетом

факторов, определяющих его эксплуатационные качества (масса, вибропрочность, герметичность и др.) (табл. II.2.2—II.2.3).

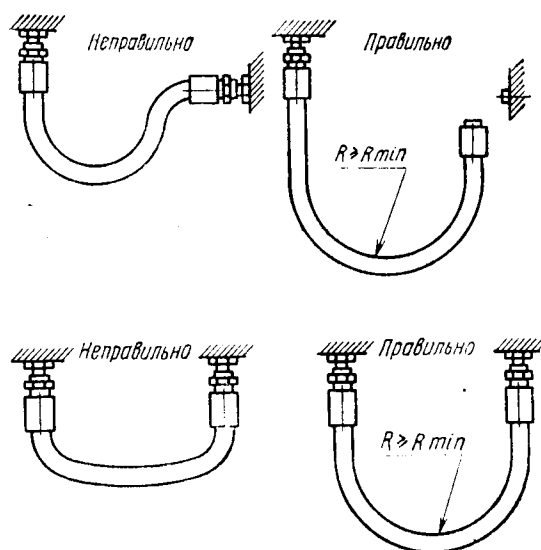


Рис. 11.2.8. Схемы монтажа шлангов без резких перегибов у наконечников.

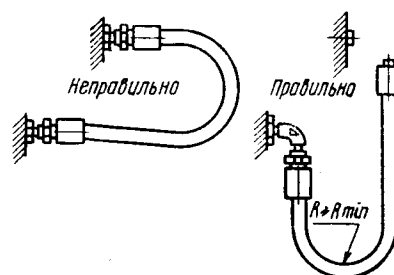


Рис. 11.2.9. Схема монтажа шлангов без перегиба у наконечника под действием собственной массы.

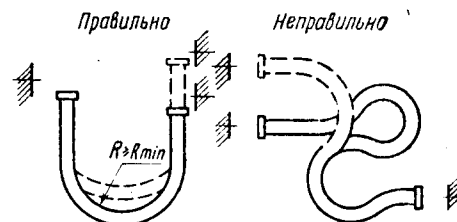


Рис. 11.2.10. Схема монтажа шлангов без многократных изгибов.

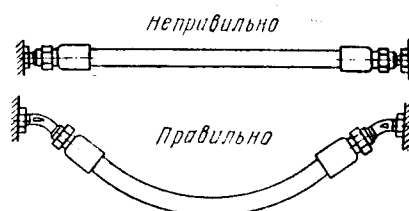


Рис. 11.2.11. Схема монтажа шланга без натяжения.

Конструктивно-технологическая характеристика соединений

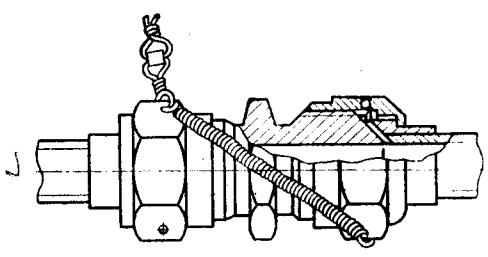
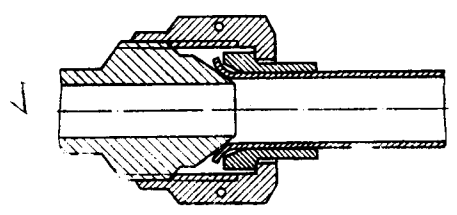
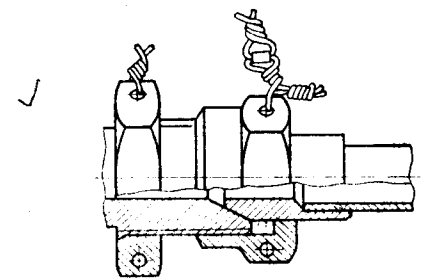
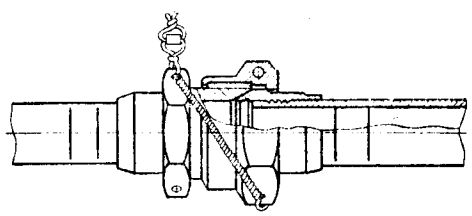
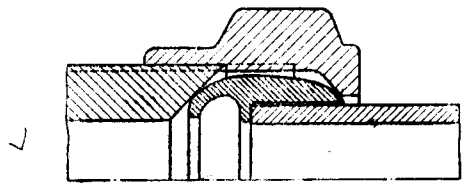
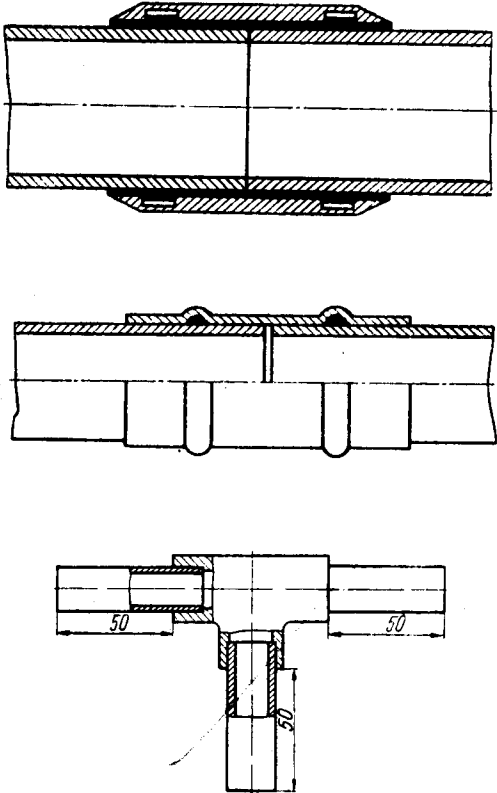
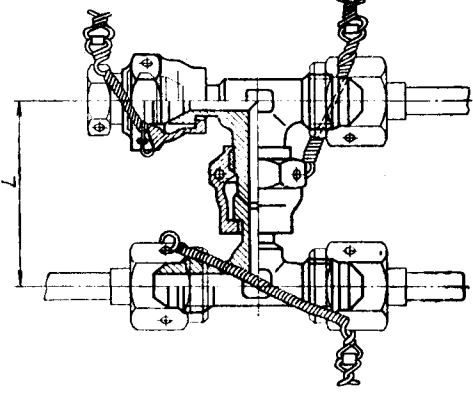
Наименование техдокументации	Эскиз	Область применения
<p>1</p> <p>ГОСТ 1.3954—74÷ГОСТ 1.3977—74 «Соединения трубопроводов по наружному конусу»</p>		Все системы
<p>2</p> <p>АН-2296 или <u>ОСТ 1.12051—75</u> <u>ОСТ 1.00770—75</u> «Соединения трубопроводов по наружному конусу с криволинейной развальцовкой»</p>		То же
<p>3</p> <p>ГОСТ 1.6039—70÷ГОСТ 1.6078—70 «Соединения трубопроводов по внутреннему конусу»</p>		»
<p><u>ОСТ 1.12052—75÷ОСТ 1.12075—75</u> <u>ОСТ 1.00759—75</u> «Соединения облегченных трубопроводов»</p>		»
<p>4</p> <p>ОСТ 1.10539—72÷ОСТ 1.10547—72; ОСТ 1.00548—72 «Соединения трубопроводов по внутреннему конусу с раскатанными в ниппели концами труб»</p>		»

Таблица П.2.2

трубопроводов

Материал трубы	Предел выносли- вости, кгс/мм ²	Диапазон применяе- мых диа- метров, мм	Диапазон температур, °С	Диапазон массы соедине- ний, г	Сравни- тельная оценка массы соединений	Допустимые мон- тажные неточности	Допустимая не- герметичность соединений	Минималь- ный зазор до соседнего элемента при монтаже и контроле, мм
12X18H10T X15H5D2T AMr2M M2 ПТ-7M	13,5—14,0 12,0 — 7,0	3—38	—60—500	Для цвет- ных сплавов 3,73—96,93. Для сталь- ных 8,53— —197,73	1,0	Согласно РТМ-1.4.534—79	По ОСТ 1.00128—74	5
12X18H10T AMr2M	20,0 —	4—38	20—500	Для цвет- ных сплавов 9—112	~1,0	Согласно РТМ-1.4.534—79	По ОСТ 1.00128—74	5
12X18H10T Сталь 20 Сталь 20A	18—20,2	6—38	—60—500	22—341,7	~2,0	Согласно РТМ-1.4.534—79	По ОСТ 1.00128—74	5
X15H5D2T 12X18H10T ПТ-7M ОТ4-0		8—42	—60—300 —60—500 —60—300	—	—	Согласно РТМ-1.4.534—79	По ОСТ 1.00128—74	5
12X18H10T X15H5D2T ОТ4-0	13,0 15,0 12,0	6—42	—60—500 —60—300	18—191,4	~1,0	Согласно РТМ-1.4.534—79	По ОСТ 1.00128—74	5

Наименование техдокументации	Эскиз	Область применения
<p>§</p> <p>ОСТ 1.11392—73÷ОСТ 1.11394—74, ОСТ 1.11842—74÷ ÷ОСТ 1.11852—74, ОСТ 1.12403—76÷ОСТ 1.12508—76, ОСТ 1.00801—76 «Соединения трубопроводов пайкой»</p>		<p>Все системы</p>
<p>АН-2287 и АН-2455 или ОСТ 1.10381—71÷ОСТ 1.10428—71, ОСТ 1.00531—71 «Арматура с обжимными гайками для соеди- нений трубопроводов по внутреннему конусу»</p>		<p>»</p>

Примечания:

1. Пределы выносливости приведены только для соединений трубопроводов диаметром 12 мм. Остальные значения приве
2. При сравнительной оценке массы за исходную величину были приняты соединения по ГОСТ 1.3954—74÷ГОСТ

Материал трубы	Предел выносли- вости, кгс/см ²	Диапазон применяе- мых диа- метров, мм	Диапазон температур, °С	Диапазон массы соедине- ний, г	Сравни- тельная оценка массы соединений	Допустимые мон- тажные неточности	Допустимая не- герметичность соединений	Минималь- ный зазор до соседнего элемента при монтаже и контроле, мм
12X18H10T X15H5Д2T ПТ-7М	10—11 16,1 13,5	6—50	500 400 350	—	~0,17	Согласно РТМ-1446	ОСТ 1.00128—74	20
12X18H10T Сталь 20А	20,0 —	6—30	—60—500	—	~1,0	Согласно РТМ-1.4.534—79	ОСТ 1.00128—74	5

дены в табл. II.2.5.
1.3977—74.

Конструктивно-технологическая характеристика

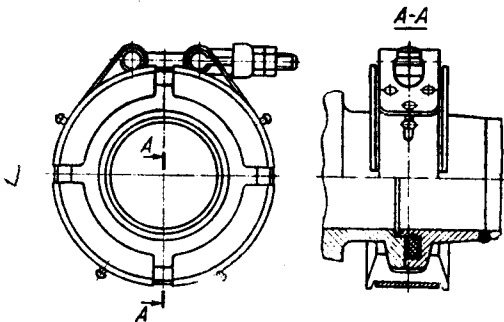
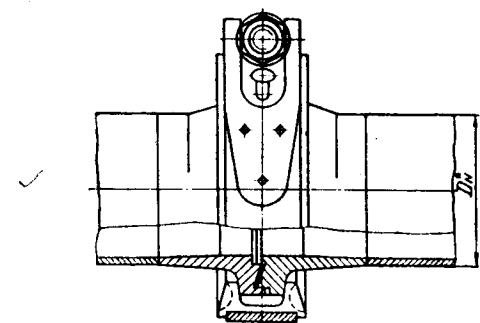
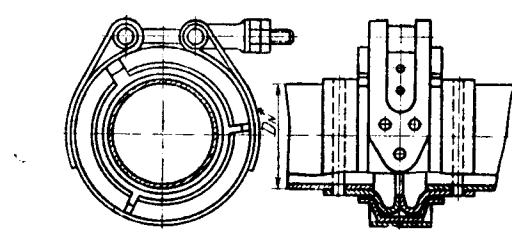
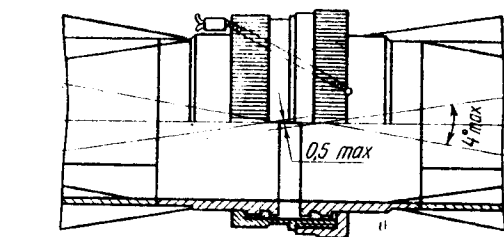
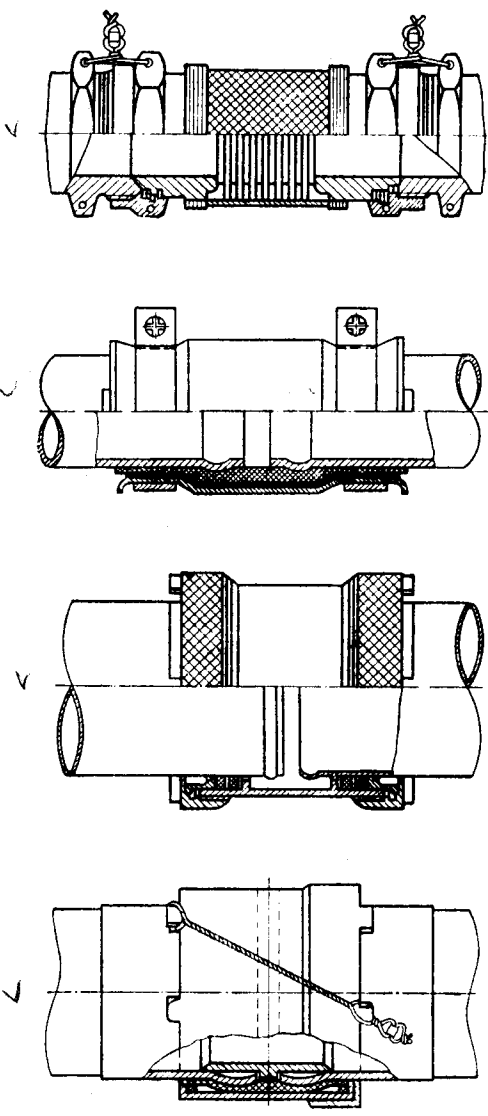
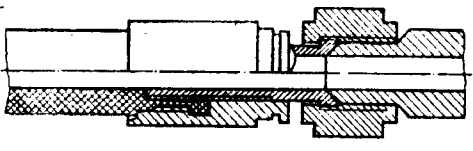
Наименование техдокументации	Эскиз	Область применения
<p>ОСТ 1.10045—71÷ОСТ 1.10065—71 «Соединения трубопроводов фланцевые из алюминиевого сплава для воздушных, топливных и масляных систем».</p> <p>ОСТ 1.10078—71÷ОСТ 1.10093—71 «Соединения трубопроводов фланцевые из стали для воздушных систем»</p>		<p>Системы воздушная топливная масляная</p>
<p>ОСТ 1.11958—74÷ОСТ 1.11963—74 «Соединения трубопроводов фланцевые с упругим металлическим кольцом для горячего воздуха»</p>		<p>Система горячего воздуха</p>
<p>ОСТ 1.11970—74÷ОСТ 1.11975—74 «Соединения трубопроводов фланцевые облегченные для трубопроводов воздушных систем»</p>		<p>Система воздушная</p>
<p>ОСТ 1.11461—75÷ОСТ 1.11475—75 «Соединения трубопроводов подвижные для топливных систем»</p>		<p>Система топливная</p>

Таблица II.2.3

соединений трубопроводов

Материал труб	Диапазон применяемых диаметров, мм	Диапазон температур, °C	Диапазон массы соединений, г	Сравнительная оценка массы соединений	Допустимые монтажные неточности, мм	Допустимая негерметичность соединений
АМцМ АМг2М АМг6М 12Х18Н10Т	40—200 40—140	—60—200 —60—650	31—148 (хомут 109,3—326,4); 86—302 (хомут 177—619)	1*	—	ОСТ 1.00128—74 гр. 1—8
ХН2ВВМАБ	40—140	—60—650	96—370 (про- кладка 7—21); (без хомута)	1*	$\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = 0$	ОСТ 1.00128—74 гр. 2—2
12Х18Н10Т	40—160	—60—430	25—174 (хомут 122—475)	0,4*	$\Delta_1 = \Delta_3 = 0$ $\Delta_2 = 1,5$	ОСТ 1.00128—74 гр. 2—5
АМг2М	25—100	—60—100	59,5—262,4	0,4—0,5 ** 0,66 ***	$\Delta_2 = 0,5$ $\Delta_3 = 4^\circ$ линейное перемещение 0—9; 12; 15 в зависимости от конструкции	ОСТ 1.00128—74 гр. 2—5

Наименование техдокументации	Эскиз	Область применения
АН-1668, АН-2071, АН-2141, РТМ-991		<p>Системы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) воздушная топливная 2) воздушная топливная 3) топливная масляная 4) масляная воздушная гидравлическая топливная
<p>ОСТ 1.00888—78 «Рукава резиновые с хлопчатобумажными и металлическими оплетками и соединительной арматурой». ТУ-380056016—72 «Рукава и муфты прокладочной конструкции»</p>		<p>Системы:</p> <ol style="list-style-type: none"> воздушная топливная гидравлическая масляная

При сравнительной оценке массы за исходную величину были приняты соединения по

* ОСТ 1.10078—71÷ОСТ 1.10093—71;

** АН-1668;

*** чертежам ОКБ и нормалям.

Материал труб	Диапазон применяемых диаметров, мм	Диапазон температур, °C	Диапазон массы соединений; г	Сравнительная оценка массы соединений	Допустимые монтажные неточности, мм	Допустимая негерметичность соединений
Алюминиевые сплавы	10—40 6—75 14—80	—60—250 —60—100 —50—100	44,9—407	1,0 ** 1,00 **	$\Delta_2=3$ $\Delta_1=3$ $\Delta_1=2$ $\Delta_2=0,2$	ОСТ 1.00128—74 гр. 8—5 гр. 2—5 гр. 1—8 гр. 1—8 гр. 2—5
Сталь, алюминиевые и титановые сплавы	3—54 12—54 3—35	—25—180 —55—100 —25—150	0,048—2,719 0,101—1,287 0,036—0,933	—	—	ОСТ 1.00128—74 гр. 1—8 гр. 2—5

Для окончательного выбора марки материала трубопровода и оценки конструктивных характеристик их соединений необходимо знать величины

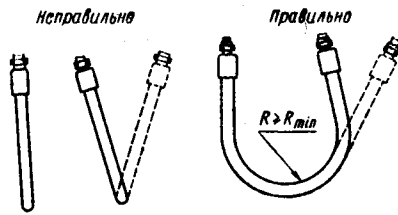


Рис. II.2.12. Схема монтажа движущегося шланга, изогнутого в одной плоскости, совпадающей с плоскостью движения шланга.

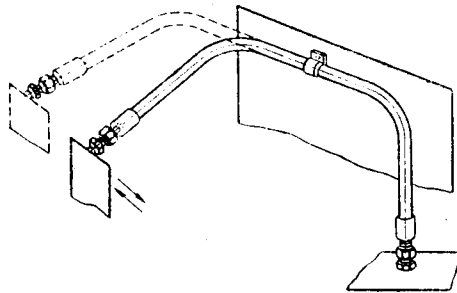


Рис. II.2.13. Схема монтажа движущегося шланга, изогнутого в разных плоскостях.

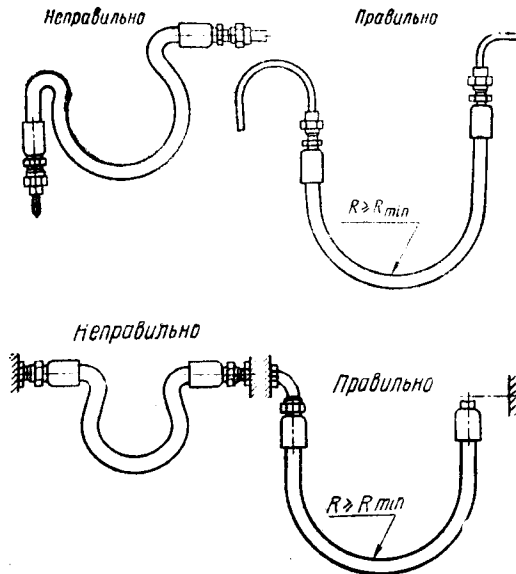


Рис. II.2.14. Схемы монтажа движущегося шланга без многократных изгибов.

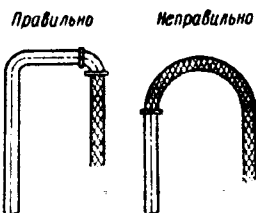


Рис. II.2.15. Схема подсоединения шланга к жесткому трубопроводу.

по эффективному коэффициенту концентрации напряжений

$$\beta_k^{\text{соед.}} = \frac{\sigma_{-1}^{\text{тр}}}{\sigma_{-1}^{\text{соед.}}} \rightarrow 1,$$

где $\sigma_{-1}^{\text{тр}}$ и $\sigma_{-1}^{\text{соед.}}$ — величины пределов выносливости трубопровода в состоянии поставки и его соединения, соответственно.

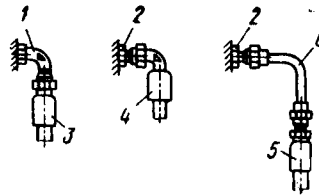


Рис. II.2.16. Возможные варианты исполнения мест подсоединения шлангов:

1 — ввертной угольник; 2 — ввертной проходник; 3 — наконечник с прямым ниппелем; 4 — наконечник с угловым ниппелем; 5 — наконечник со штуцером; 6 — жесткий трубопровод.

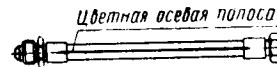


Рис. II.2.17. Положение осевой полосы на рукаве.

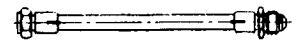


Рис. II.2.18. Положение рисок на наконечниках.

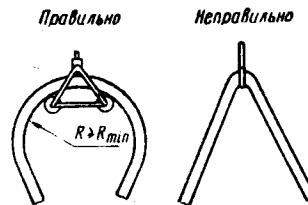


Рис. II.2.19. Схема монтажа шланга на блоке.

Характеристики выносливости различных материалов трубопроводов в состоянии поставки приведены в табл. II.2.4.

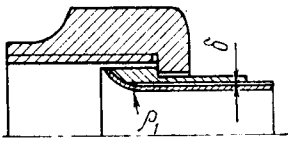
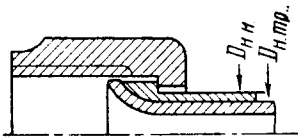
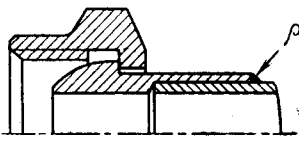
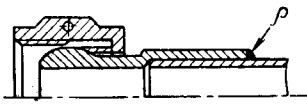
Таблица II.2.4

Размеры труб, мм	Пределы выносливости трубопроводов, кгс/мм ² , в состоянии поставки из		
	стали		титанового сплава
	12X18H10T	X15H5D2T	ПТ-7М
8×1,0	24,0	—	—
12×0,5	—	32,3	20,6
12×1,0	22,5	—	25,1
18×1,0	19,2	—	—
20×0,5	20—23	26,0	19,3
20×1,0	20,0	—	—
50×0,5	18,7	25,0	17,0

Примечание. Пределы прочности σ_B для материалов 12X18H10T, X15H5D2T и ПТ-7М—54—56, 90—110, 48—68 кгс/мм², соответственно.

пределов выносливости различных материалов труб в состоянии их поставки. Оценка производят

Таблица II.2.5

Тип соединения	Материал трубы	Эскиз соединения	Предел выносливости, кгс/мм ² , соединений трубопроводов размером, мм			
			8×1,0(0,5)	12×0,5(1,0)	20×0,5(1,0)	50×0,5(1,0)
Разъемное по наружному конусу (ГОСТ 13954—74÷ ГОСТ 13977—74)	12X18H10T X15H5D2T ПТ-7М ВТ1-1		13,7—14,5 — —	(13,5—14) ** (22— 24) **** 13,5 (7—9)	(10,3) 8,0 5,0—6,0	— — —
Разъемное без зазора (δ=0÷—0,1)	12X18H10T ПТ-7М		14,5—14,9 —	(16,2) ** —	— 12	— —
Разъемное по внутреннему конусу (ГОСТ 16039—70÷ ГОСТ 16078—70)	12X18H10T		19,7—21 17,6	(18,5—20,2) (16,5—17,0)	— —	— —
Разъемное самоуплотняю- щееся с упругим элементом ОСТ 1.10539—72÷ОСТ 1.10547—72	12X18H10T X15H5D2T		—	13,0—18,7 *	—	—
ОСТ 1.100548—72	ПТ-7М		—	15,0 (14,0)	—	—
Неразъемное паяное (ОСТ 1.03745—74, ОСТ 1.11392— 73÷ОСТ 1.11394—73, ОСТ 1.11842—74÷ОСТ 1.11852— 74	12X18H10T X15H5D2T		(13,6)	12—12,7 **	9—10,2	—
ОСТ 1.00672—73	ПТ-7М		—	12,0 (10,0—11,0) (15,0) *** 7,2 13,5 ***	— 9,5 12,5 ***	— 5,0
			—	7,0 13,5 *** (7,2)	8	(6,0)

* со ступенчатым переходом от раскаганной части в цилиндрическую и с плавным переходом ($r=16$ мм).

** соединения трубопроводов, испытанные при рабочем давлении до 280 кгс/см² и температуре до 350 °С.

*** трубопроводы, концы которых покрыты слоем никеля, муфты имеют усовершенствованную конструкцию.

**** соединения трубопроводов, упрочненные специальным фильерным инструментом.

В табл. II.2.5 приведены результаты усталостных испытаний различных типов соединений трубопроводов из разных материалов.

Приведенные ниже эмпирические формулы позволяют определить вибропрочность труб различных типоразмеров и их соединений по коэффициентам, вычисленным на базе результатов усталостных испытаний (табл. II.2.6).

Вибропрочность труб в состоянии поставки при нормальных условиях можно определить по формуле

$$\sigma_{-1}^{TP} = A_{TP} - B_{TP} (\lg D_H / S_{CT} - 0,301), \quad (1)$$

где σ_{-1}^{TP} — усталостная прочность трубы в состоя-

нии поставки при симметричном нагружении, кгс/мм²;

A_{TP} — коэффициент, характеризующий вибропрочность материала трубы;

B_{TP} — коэффициент, характеризующий чувствительность материала к масштабному фактору, к концентраторам напряжения, пластичность и др. параметры качественного состояния материала;

D_H — наружный диаметр трубы, мм;

S_{CT} — толщина стенки трубы, мм;

0,301 = $\lg 2$ — параметр, ограничивающий применение зависимости.

Таблица II.2.6.

Вид соединения	Материал трубы	t, °C	P, кгс/см²	K _t	K _p	K _σ	K _σ ·K _t	$A = \frac{A_{тр}}{K_{σ}^{**} K_t}$	$B = \frac{B_{тр} K_p}{K_{σ} K_t}$	$A = B \lg \frac{D_H}{2S_{ст}} \left(\frac{D_H}{S_{ст}} = 20 \right)$
Труба в состоянии поставки	X15H5D2T	20	0	1	1	1	1	41,5	9,6	31,9
		200	0	1,125	1	1	1,125	37	8,5	28,5
		200	280	1,125	1,467	1	1,125	37	12,5	24,5
	ПТ-7М	20	0	1	1	1	1	33,8	10,7	23,1
		200	0	1,135	1	1	1,135	30	9,4	20,6
		200	100	1,135	1,265	1	1,135	30	11,9	18,1
	X15H5D2T	20	0	1	1	2,5*	2,3	18	4,2	13,8
		200	0	1,125	1	2,3	2,6	16	3,7	12,3
		200	280	1,125	1,467	2,3	2,6	16	5,45	10,55
По АН-1854	ПТ-7М	20	0	1	1	2,9*	2,9	11,7	3,7	8
		200	0	1,135	1	2,9	3,3	10,2	3,20	7
		200	100	1,135	1,265	2,9	3,3	10,2	4,05	6,15
	X15H5D2T	20	0	1	1	1,35	1,35	30,6	7,1	23,5
		200	0	1,125	1	1,35	1,52	27,2	6,3	20,9
		200	280	1,125	1,467	1,35	1,52	27,2	9,25	18,0
	ПТ-7М	20	0	1	1	1,56*	1,56	21,6	6,20	14,8
		200	0	1,135*	1	1,56	1,77	19,0	5,6	13,4
		200	100	1,135	1,265	1,56	1,77	19,0	7,1	11,9
Паяное (см. рис. II.2.1—II.2.2)	X15H5D2T	20	0	1	1	2,3*	2,3	18	4,2	13,8
		200	0	1,125	1	2,3	2,6	16	3,7	12,3
		200	280	1,125	1,467	2,3	2,6	16	5,45	10,55
	ПТ-7М	20	0	1	1	1,6*	1,6	21	6,7	14,3
		200	0	1,135	1	1,6	1,82	18,5	5,9	12,6
		200	100	1,135	1,265	1,6	1,82	18,5	7,5	11,0
	X15H5D2T	20	0	1	1	1,16	1,16	35,8	8,70	27,1
		200	280	1,125	1	1,16	1,31	28,3	7,7	20,6
		200	100	1,125	1,467	1,16	1,31	28,3	11,3	17,0
С врезавшимся кольцом	ПТ-7М	20	0	1	1	1,135	1,135	29,7	9,4	20,6
		200	0	1,135	1	1,135	1,29	26,2	8,3	17,9
		200	100	1,135	1,265	1,135	1,29	26,2	10,5	15,7

* Коэффициенты, рассчитанные по экспериментальным данным.

** K_σ — суммарный эффективный коэффициент концентрации напряжений.

После определения величин A_{тр} и B_{тр} уравнение (1) принимает вид

— для труб из стали X15H5D2T

$$\sigma_{-1}^{тр} = 41,5 - 9,6 (\lg D_H / S_{ст} - 0,301);$$

— для труб из сплава ПТ-7М

$$\sigma_{-1}^{тр} = 33,8 - 10,7 (\lg D_H / S_{ст} - 0,301);$$

— для труб из стали 12X18H10T

$$\sigma_{-1}^{тр} = 27,2 - 5,9 (\lg D_H / S_{ст} - 0,301).$$

Вибропрочность любого соединения (исходные данные приведены в табл. II.2.6) при нормальных условиях можно определить по формуле

$$\sigma_{-1}^{соед} = \frac{\sigma_{-1}^{тр}}{K_{\sigma}} = \frac{1}{K_{\sigma}} [A_{тр} - B_{тр} (\lg D_H / S_{ст} - 0,301)], \quad (2)$$

где $K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}^{тр}}{\sigma_{-1}^{соед}}$ — коэффициент концентрации напряжений для данного соединения.

В общем случае вибропрочность труб в состоянии поставки и их соединений для различных материалов и типоразмеров, а также в зависимости от величин коэффициентов концентрации напряжений K_σ, температурных коэффициентов K_t и коэффициентов давления K_p может быть определена по формулам:

— для труб

$$\sigma_{-1}^{тр, p} = [A_{тр} - K_p B_{тр} (\lg D_H / S_{ст} - 0,301)]; \quad (3)$$

— для соединений

$$\sigma_{-1}^{соед, p} = \frac{1}{K_{\sigma} K_t} [A_{тр} - K_p B_{тр} (\lg D_H / S_{ст} - 0,301)], \quad (4)$$

где K_t — коэффициент, учитывающий влияние температуры на вибропрочность;

K_p — коэффициент, учитывающий влияние давления рабочей жидкости на вибропрочность.

Для соединения жесткими трубопроводами агрегатов, один из которых при эксплуатации перемещается относительно другого, рекомендуется применять поворотные соединения (рис. II.2.20). Со-

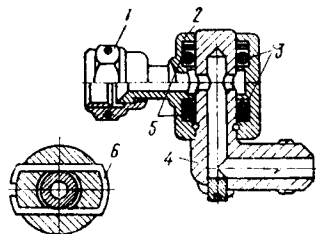


Рис. II.2.20. Поворотное соединение трубопроводов:

1 — гайка обжимная; 2 — муфта; 3 — кольцо уплотнительное; 4 — угольник; 5 — защитная шайба; 6 — шпилька.

единения шлангов со штуцерами проектируют в виде ниппельного соединения или с креплением одним или двумя хомутами (рис. II.2.21).

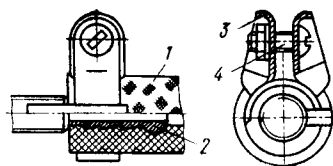


Рис. II.2.21. Крепление шланга к штуцеру хомутом, стягиваемым болтом:

1 — дюритовый шланг; 2 — штуцер; 3 — хомут; 4 — болт, (шайба, гайка).

Для исключения излишних изгибов трубопроводов предусматривают фитинги с различными углами отклонения штуцеров от прямолинейной оси (рис. II.2.22). Колодки для крепления трубопрово-

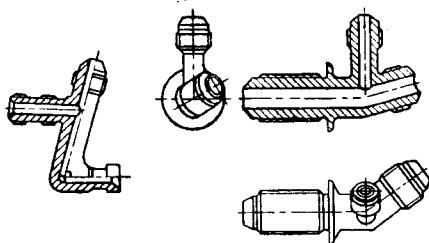


Рис. II.2.22. Фитинги с углом отклонения от прямолинейной оси.

дов рекомендуется выбирать по нормали АН-2343. Наиболее технологичными считаются однорядные колодки (рис. II.2.23, а). Применять многорядные колодки, усложняющие процесс монтажа (рис. II.2.23, б), не рекомендуется.

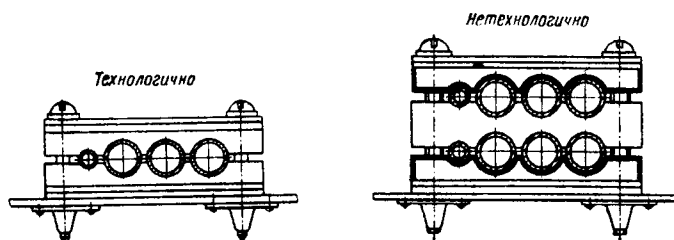


Рис. II.2.23. Колодки для крепления трубопроводов.

Для крепления трубопроводов к конструкции планера хомуты выбирают по нормали АН-1811 или ГОСТ 17020—78, ОСТ 12088—75 и ОСТ 12087—75.

При проектировании хомутов для крепления агрегатов предпочтение следует отдавать составным

хомутам, позволяющим устанавливать агрегаты в хомут с разных сторон, что особенно важно при насыщении монтажной зоны бортовым оборудованием.

При креплении трубопроводов диаметром свыше 10 мм скобочными или зажимными хомутами предусматривают пружинящую пластинку (рис. II.2.24).

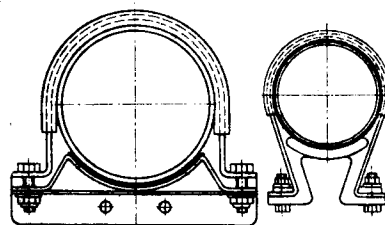


Рис. II.2.24. Крепление трубопровода зажимным хомутом с пружинящей пластинкой.

Для крепления трубопроводов малых диаметров (до 10 мм) рекомендуется использовать замки (рис. II.2.25).

При креплении трубопроводов и готовых изделий обоймами или хомутами на участках систем с повышенной вибрацией устанавливают прокладки, материал которых выбирается в зависимости от условий эксплуатации системы (рис. II.2.26).

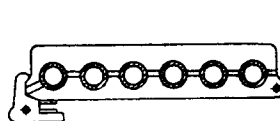


Рис. II.2.25. Крепление трубопроводов замком.

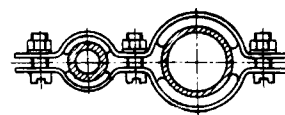


Рис. II.2.26. Крепление трубопроводов обоймой с прокладками.

Для снижения переменных напряжений в местах вынужденных поперечных колебаний трубопроводов, а также в зонах повышенных температур рекомендуется применять упругодемпфирующие зажимы (УДЗ) (рис. II.2.27).

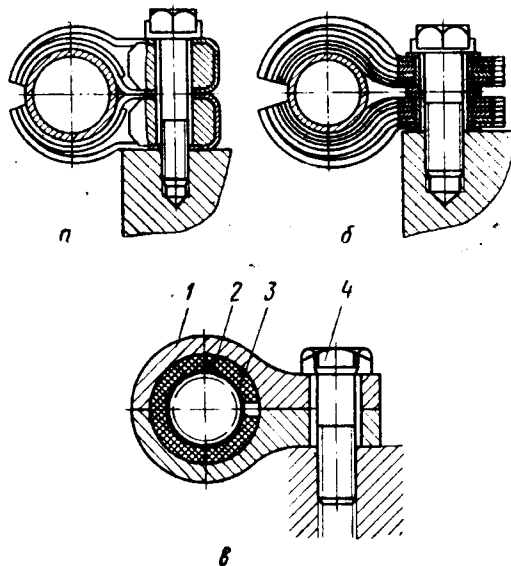


Рис. II.2.27. Упругодемпфирующие зажимы: а — упругий; б — пластинчатый; в — цельнометаллический с упругодемпфирующей прокладкой; 1 — колодка; 2 — упругодемпфирующая прокладка; 3 — защитная втулка; 4 — болт.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОТРАБОТКА МОНТАЖА

При разработке монтажных схем на трубопроводные системы необходимо предусматривать оптимальные зазоры. Величины зазоров между прямыми параллельными трубопроводами приведены в табл. II.2.7 (по данным РТМ-1120, РТМ 1.4.534—79).

Таблица II.2.7

Наружный диаметр трубопровода	Расстояние между опорами	Допустимый зазор, не менее, при изготовлении трубопроводов из		
		сталей X18H10T и 20A	титановых сплавов	алюминиевых сплавов
До 16	До 400	2	3	3
	Св. 400	3	5	5
Св. 16	Св. 400	2	2	2

Зазор между параллельно изогнутыми трубопроводами, закрепленными колодками, должен плавно увеличиваться от начала изгиба до середины кривой до двукратной величины размера перемычки колодки и составлять не менее 4 мм (рис. II.2.28).

Зазор между трубопроводом и неподвижными элементами конструкции — гладкими стенками, отбортовками отверстий — должен быть не менее 2 мм для стальных трубопроводов и не менее 3 мм для трубопроводов из алюминиевых сплавов (рис. II.2.29).

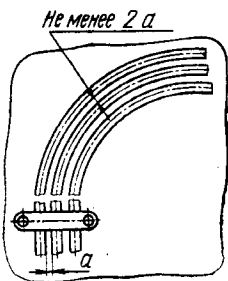


Рис. II.2.28. Зазор между трубопроводами в местах изгиба.

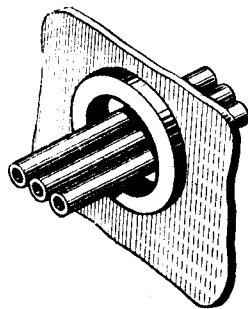


Рис. II.2.29. Зазор между трубопроводами и отбортовкой отверстия.

Между трубопроводом и острыми кромками деталей и гранями гаек зазор должен быть не менее 5 мм (рис. II.2.30), между перекрещивающимися

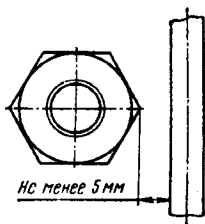


Рис. II.2.30. Зазор между трубопроводами и острыми кромками деталей и гранями гаек.

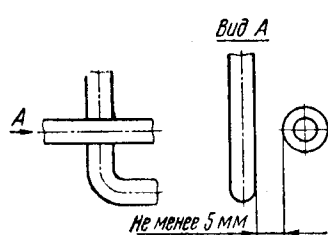


Рис. II.2.31. Зазор между перекрещивающимися трубопроводами.

трубопроводами также не менее 5 мм (рис. II.2.31), между трубопроводами и подвижными элементами конструкции или блоками готовых изделий, установленными на мягких амортизаторах, — не менее 8 мм (кроме мест, оговоренных чертежом) (рис. II.2.32).

В местах жесткого крепления электрожгутов зазор между трубопроводом и электрожгутами должен быть не менее 6 мм, а в середине пролета — не менее 20 мм для гидравлической, топливной и масляной систем и не менее 40 мм для трубопровода горячего воздуха (рис. II.2.33).

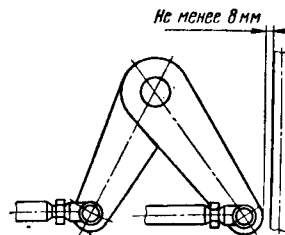


Рис. II.2.32. Зазор между трубопроводом и подвижными деталями.

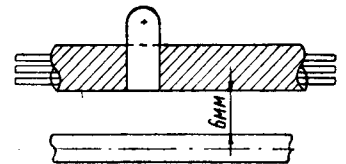


Рис. II.2.33. Зазор между трубопроводом и электрожгутом.

Между трубопроводом, обшитым теплоизоляционным материалом, и неподвижными элементами конструкции зазор должен быть не менее 4 мм, если элементы конструкции подвижные — зазор не менее 8 мм (рис. II.2.34).

Зазор между трубопроводом и тросом должен быть не менее 10 мм, между трубопроводом и гибкими шлангами — не менее 8 мм (рис. II.2.35).

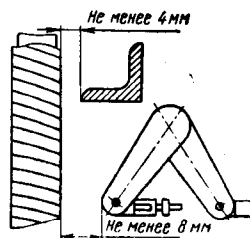


Рис. II.2.34. Зазор между трубопроводом, обшитым теплоизоляционным материалом, и неподвижными и подвижными элементами конструкции.

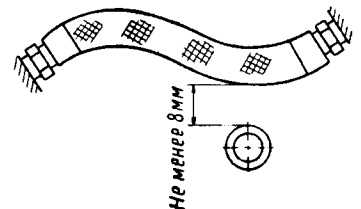


Рис. II.2.35. Зазор между трубопроводом и гибким шлангом.

Зазор между колесом шасси и трубопроводом должен составлять не менее 15 мм по радиусу колеса и не менее 10 мм между самолетом и боковыми стенками колеса (рис. II.2.36).

В местах изменения направления трубопровода («колена») при длине незакрепленного участка более 300 мм необходимо устанавливать дополнительное жесткое крепление (рис. II.2.37). После места установки колодки трубопровод должен иметь прямой участок не менее 5—7 мм.

Горячее монтажное соединение располагается так, чтобы были исключены монтажные напряжения и обеспечены возможность установки муфты, установки и демонтажа нагревателя, подключения и отключения токопроводящего кабеля, возможность

работы двумя руками, последующий внешний осмотр паяного соединения с применением лупы 4—5-кратного увеличения, а также ультразвуковой контроль и контроль на герметичность.

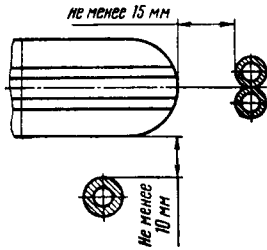


Рис. II.2.36. Зазор между трубопроводом и колесом шасси.

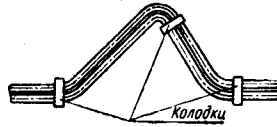


Рис. II.2.37. Схема распределения крепежных колодок на изогнутых участках трубопроводов.

На рис. II.2.38 и в табл. II.2.8 приведены минимально допустимые границы свободного пространства вокруг зоны соединения под пайку.

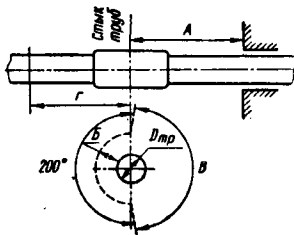


Рис. II.2.38. Минимально допустимые границы свободного пространства вокруг зоны соединения.

Таблица II.2.8

мм				
Диаметр трубо- провода	Границы свободного пространства			
	А	Б	В	Г*
6—50	70—80	18—20	Определя- ется воз- можностью работы двумя руками	Не ме- нее 100
Св. 50 до 100	80—90	20—25		
Св. 100 до 150	100—110	25—30		

* Требуемый минимальный прямолинейный участок
трубы.

На рис. II.2.39 показаны зоны распределения температур по трубе при пайке соединений.

В табл. II.2.9 приведены размеры зон распределения температур (М, N) в зависимости от диаметра трубопровода.

Таблица II.2.9

Диаметр трубопровода	мм	
	М	N
6—50	60	100—120
Св. 50 до 100	70	120—150
Св. 100 до 150	90	150—180

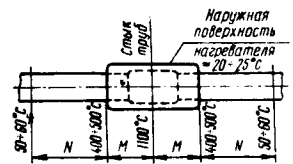


Рис. II.2.39. Зоны распределения температур по трубе при пайке соединений трубопроводов.

На рис. II.2.40 приведены примеры расположения паяных соединений, а также даны минимальные размеры, необходимые для их монтажа и контроля.

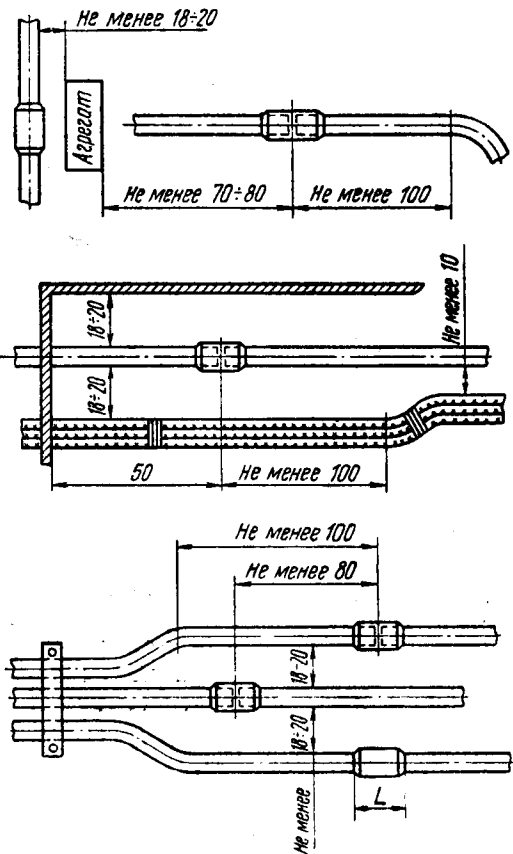


Рис. II.2.40. Примеры расположения паяных соединений.

Элементы оборудования, которые нельзя подвергать воздействию высокой температуры пайки неразъемных соединений, располагают вне зоны нагрева трубы.

В труднодоступных местах рекомендуется производить пайку соединений до окончательной установки съемных деталей и агрегатов.

Теплоизоляцию устанавливают после испытания паяных соединений трубопроводов на герметичность.

Глава 3. ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТРОЛЯ ТЕЧЕЙСКИМ

Контроль течейским распространяется на изделия, для которых в конструкторской документации задана степень герметичности. К таким изделиям относятся трубопроводные системы (топливная, гидравлическая, кислородная и др.), баллоны, топливные баки, герметичные фюзеляжи и т. п.

При контроле течейским определяется суммарная негерметичность изделия или выявляются места течей.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАЗНАЧЕНИЮ СТЕПЕНИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Степень герметичности задается конструктором из условий обеспечения работоспособности изделия или безопасности его эксплуатации в соответствии с требованиями ОСТ 1.00128—74 «Герметичность изделий. Нормы». Степень герметичности может быть задана величиной

— суммарной негерметичности (утечки) для всей поверхности изделия, для единицы площади или единицы погонной длины соединения, например сварного шва;

— допустимой утечки через отдельную течь в соединении или сплошном материале.

Требуемая величина степени герметичности, а также специальные условия контроля заносятся в чертеж или ТУ. Указания чертежа или ТУ являются исходным материалом для выбора метода течейского, разработки технологической схемы и определения режимов контроля герметичности.

Степень герметичности (величина утечки рабочего или контрольного вещества) оценивается в единицах потока газа или единицах объемного расхода жидкости. Переходные коэффициенты для единиц потока газа в различных системах приведены в табл. II.3.1.

Таблица II.3.1

Единицы	л·мкм рт. ст./с	л·мм рт. ст./с	см ³ атм/с	м ³ Па/с
л·мкм рт. ст./с	1,0	1·10 ⁻³	1,32·10 ⁻³	1,32·10 ⁻⁴
л·мм рт. ст./с	1·10 ³	1,0	1,32	1,32·10 ⁻¹
см ³ атм/с	7,6·10 ²	7,6·10 ⁻¹	1,0	1·10 ⁻¹
м ³ Па/с	7,6·10 ⁸	7,6	10	1,0

Величина суммарной негерметичности объекта, подлежащего контролю, может быть рассчитана одним из следующих способов:

1) если по условиям эксплуатации объекта ограничивается величина падения давления газа в нем за установленное время, величина суммарной негерметичности в единицах газового потока вычисляется по формуле

$$Q = \frac{V \Delta P}{t},$$

где Q — степень герметичности объекта (суммарная утечка рабочего газа), л·мкм рт. ст./с;

V — внутренний объем объекта, л;

ΔP — допустимое падение давления в объекте, мкм рт. ст. за время t , с;

2) для объектов, в которых в качестве рабочего вещества используются токсичные или пожароопасные газы или жидкости, величину суммарной негерметичности в единицах массы вычисляют по формуле

$$G = \frac{C_{\text{доп}}}{\tau} V_{\text{и}},$$

где G — степень герметичности объекта в единицах массы, мг/с

$C_{\text{доп}}$ — предельно допустимая концентрация (ПДК) паров рабочего вещества, мг/л;

τ — время, за которое допускается увеличение концентрации паров рабочего вещества до ПДК, с;

$V_{\text{и}}$ — объем (отсек, помещение и т. п.), в котором не допускается концентрация паров рабочего вещества выше ПДК, л.

Единицы массы пересчитывают в единицы газового потока по формуле

$$Q_T = \frac{G}{\rho},$$

где Q_T — степень герметичности объекта (суммарная утечка токсичного газа или жидкости) в единицах газового потока, см³·атм/с;

ρ — плотность газа или паров жидкости, г/л.

Степень герметичности объекта должна рассчитываться для наихудших условий его эксплуатации.

Если при контроле герметичности применяется метод течейского, чувствительность которого значительно превышает заданную степень герметичности, и при этом обнаруживаются утечки, меньшие заданных в ТУ, то решение о годности изделия принимается согласно установленному на предприятии (организации) порядку.

При контроле герметичности вместо рабочей среды могут использоваться другие газы или жидкости, измерения потоков производятся при давлениях, отличных от рабочих.

Связь между величинами потоков рабочих и контрольных веществ через одни и те же микронеплотности (эквивалент утечек) определяется по формулам:

для вязкостного режима течения газов ($Q \approx 1 \cdot 10^{-3}$ л·мкм рт. ст./с и более)

$$\frac{Q_p \eta_p}{P_{p1}^2 - P_{p2}^2} = \frac{Q_k \eta_k}{P_{k1}^2 - P_{k2}^2};$$

для молекулярного режима течения газов ($Q \approx 1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ л·мкм рт. ст. и менее)

$$\frac{Q_p \sqrt{M_p}}{P_{p1} - P_{p2}} = \frac{Q_k \sqrt{M_k}}{P_{k1} - P_{k2}};$$

для ламинарного режима течения жидкостей

$$\frac{Q_{ж.р} \eta_p}{P_{р1} - P_{р2}} = \frac{Q_{ж.к} \eta_k}{P_{к1} - P_{к2}},$$

где Q — поток газа в единицу времени;
 $Q_{ж}$ — поток жидкости в единицу времени;
 P_1 — давление на входе в неплотность;
 P_2 — давление на выходе из неплотности;
 M — молекулярная масса газа;
 η — коэффициент вязкости газа или жидкости.
 (Индексы «р» и «к» обозначают, соответственно, рабочие и контрольные вещества).

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ПРИ КОНТРОЛЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Качество и надежность контроля герметичности, помимо технических характеристик применяемого метода течеискания, обуславливаются конструкцией изделия: доступностью визуального осмотра и подхода со щупом к контролируемым поверхностям и соединениям, возможностью создания в изделии избыточного давления при проведении контроля и т. п.

В объектах, подлежащих контролю на герметичность под избыточным давлением, должны предусматриваться входы (штуцеры, люки, горловины и т. п.) для подачи контрольного вещества (газа, жидкости) и его удаления путем продувки. Конструкции отдельных деталей, не имеющих замкнутой полости (крышки, обечайки и т. п.), но требующих контроля герметичности до сборочных операций, должны обеспечивать возможность постановки технологических заглушек или устройств для создания замкнутой полости. В конструкциях не должно быть тупиковых зон, в которые затруднена подача контрольного вещества.

Наружная поверхность агрегатов должна обеспечивать возможность постановки накладных камер для создания местных замкнутых объемов. При конструировании агрегатов необходимо избегать выступающих деталей, расположения листов обшивки уступом и т. п.

Для обеспечения контроля герметичности внутренних деталей крупногабаритных объектов в них должны быть предусмотрены люки и технологические отверстия.

Конструкция ниш на объектах должна обеспечивать доступ щупа к контролируемым местам.

При выборе материала конструкции необходимо учитывать возможность его контактирования с водой, индикаторными массами на водной основе или веществами, применяемыми для контроля герметичности.

При наличии в конструкции мест с затрудненным доступом для контроля герметичности после завершения монтажа необходимо предусмотреть возможность поэтапного контроля в процессе сборки отдельных элементов или участков конструкции, системы и т. п. Места разъемов между этими элементами или участками должны выбираться с таким расчетом, чтобы обеспечить доступ к ним при контроле после завершения сборочных работ.

При конструировании трубопроводных систем необходимо предусматривать возможность совме-

щения операций контроля герметичности с операциями, близкими по технике выполнения, например, продувка, промывка гидросистем, испытание на прочность и т. п.

Контроль герметичности рекомендуется проводить до нанесения лакокрасочных покрытий.

Конструкции с суммарной негерметичностью менее 10^{-5} л·мкм рт.ст./с должны допускать возможность нагрева в вакууме до 450—500 °С, необходимого для удаления из микронеплотностей атмосферной влаги.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МЕТОДОВ ТЕЧЕЙСКАНИЯ

Характеристики методов течеискания, область их применения и требования к конструкции объекта контроля, позволяющие по заданной степени герметичности выбрать приемлемый для производства метод (способ) течеискания, приведены в табл. II.3.2.

Порядок назначения степени герметичности изделия и выбора метода течеискания приведен в примере.

Пример. В баллоне объемом $V=1$ л кислород должен находиться под давлением $P=20$ атм. В течение 30 суток допустимо снижение давления в нем не более чем на 0,01 атм.

Величина суммарной негерметичности баллона не должна превышать

$$Q = \frac{V \Delta P}{t} = \frac{1 \cdot 7,6 \cdot 10^3}{2,6 \cdot 10^5} = 2,92 \cdot 10^{-2} \text{ л·мкм рт.ст./с.}$$

Для контроля баллона с такой величиной допустимой суммарной негерметичности могут быть использованы масс-спектрометрический метод щупа (поз. 1, 2, табл. II.3.2) или пневматический метод с применением индикаторных масс (поз. III, табл. II.3.2).

При серийном производстве предпочтительнее масс-спектрометрический метод, как более объективный и требующий меньших затрат времени.

При единичном производстве более целесообразен пневматический метод, так как он прост в исполнении и не требует специальных приборов и оборудования.

При масс-спектрометрическом методе в качестве контрольного газа используется гелий, поэтому при контроле герметичности измеряется утечка гелия, а не кислорода. При проведении контроля герметичности при рабочем давлении $P=20$ атм величина потока гелия будет равна

$$Q_k = \frac{Q_p \eta_p}{\eta_k} = \frac{2,92 \cdot 10^{-2} \cdot 200}{194} = 3,01 \cdot 10^{-2} \text{ л·мкм рт.ст./с,}$$

где $Q_p = 2,92 \cdot 10^{-2}$ л·мкм рт.ст./с — допустимая суммарная негерметичность по кислороду;

$\eta_p = 200$ мкпз — коэффициент вязкости кислорода;

$\eta_k = 194$ мкпз — коэффициент вязкости гелия.

Таблица II.3.2

Метод (способ) течеискания	Прибор-течеискатель (шифр, тип)	Предельная чувствительность (л·мм рт. ст./с)	Вид контроля	Объект контроля	Требования к конструкции объекта контроля
<p>I. Масс-спектрометрический метод (пробное вещество — гелий; контрольная смесь — гелий с воздухом или азотом; индикация утечки — по стрелочному прибору-течеискателю и звуковому сигналу)</p> <p>1. Способ вакуумирования с применением вакуумной камеры</p> <p>разъемной вакуумной камеры</p> <p>вакуумных присосок</p> <p>2. Способ щупа</p> <p>3. Способ накопления при атмосферном давлении (НАД)</p> <p>4. Способ накопления с вакуумированием</p>	<p>ПТИ-7 ПТИ-7А ПТИ-10</p> <p>То же</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p>	<p>$1 \cdot 10^{-6}$ (по гелию) объем камеры до 1 м^3</p> <p>$1 \cdot 10^{-6}$ (по гелию)</p> <p>$1 \cdot 10^{-6}$ (по гелию)</p> <p>$1 \cdot 10^{-4}$ (по гелию)</p> <p>$1 \cdot 10^{-5}$ (по гелию)</p> <p>$1 \cdot 10^{-8}$ (по гелию)</p>	<p>Суммарной негерметичности</p> <p>То же</p> <p>Суммарной негерметичности ограниченного участка поверхности</p> <p>Локальных утечек</p> <p>Суммарной негерметичности</p> <p>То же</p>	<p>Системы в сборе, агрегаты, узлы, готовые изделия</p> <p>Готовые изделия, узлы, соединения систем</p> <p>Сварные швы, крышки люков, поверхность элементов конструкций с односторонним подходом</p> <p>Все виды разъемных (ниппельные, фланцевые и т. п.) и неразъемных (сварные, паяные и т. п.) соединений и поверхности конструкций</p> <p>Готовые изделия, узлы, соединения систем</p> <p>То же</p>	<p>Наличие прямолинейных участков в зоне соединений шириной 20—30 мм. Зазор между проверяемым соединением и элементами конструкции не менее 20 мм</p> <p>Прямолинейные участки в проверяемых зонах, допускающие постановку присосок</p> <p>Свободный доступ щупа с насадкой к проверяемым местам</p> <p>Возможность помещения объекта в испытательную камеру и установки на его поверхность накладной камеры</p> <p>То же</p>
<p>II. Галоидный метод (пробное вещество — фреон; контрольная смесь — фреон с воздухом или азотом; индикация утечки — по стрелочному прибору-течеискателю и звуковому сигналу)</p> <p>1. Способ щупа</p> <p>2. Способ вакуумирования</p>	<p>ГТИ-3 ГТИ-6 ВАГТИ-4</p> <p>ВАГТИ-4</p>	<p>$6 \cdot 10^{-2}$—$5 \cdot 10^{-3}$</p> <p>$5 \cdot 10^{-3}$—$1 \cdot 10^{-4}$</p>	<p>Локальных утечек</p> <p>Суммарной негерметичности</p>	<p>Все виды разъемных (ниппельные, фланцевые и т. п.) и неразъемных (сварные, клееные, паяные и т. п.) соединений и поверхности конструкций</p> <p>Готовые изделия, узлы, соединения систем</p>	<p>Свободный доступ выносного щупа-пистолета к проверяемым местам</p> <p>—</p>
<p>III. Пневматический метод с применением индикаторных масс на глицериновой основе (ПИМ) (контрольный газ — воздух или азот, индикация утечки — по пузырькам, образующимся в индикаторной массе в местах утечек). Контроль допустим при температурах от -50 до $+30$ °С</p>		<p>$5 \cdot 10^{-3}$</p> <p>$1 \cdot 10^{-2}$</p>	<p>Локальных утечек</p> <p>То же</p>	<p>Все виды неразъемных соединений (сварные, клееные, паяные и т. д.)</p> <p>Ниппельные и фланцевые соединения</p>	<p>Свободный доступ для нанесения индикаторной массы и наблюдения за ней</p> <p>То же</p>

Метод (способ) течеискания	Прибор-течеискатель (шифр, тип)	Предельная чувствительность (л·мм рт. ст./с)	Вид контроля	Объект контроля	Требования к конструкции объекта контроля
<p>IV. Люминесцентный метод контроля герметичности при рабочих температурах (контрольное вещество — смесь жидкостей АМГ-10 и 750-СЗ; индикация утечки — по свечению пробного вещества в местах течей при облучении ультрафиолетовыми лучами)</p> <p>1. Способ накопления при рабочих температурах (НРТ) до 200 °С</p>	УФО-4А ДРШ-250	$1 \cdot 10^{-2}$	Локальных утечек	Готовые изделия гидросистемы	Свободный доступ для подготовки проверяемой поверхности и возможность облучения ее ультрафиолетовыми лучами
<p>V. Гидростатический метод контроля топливных систем (контрольное вещество — керосин; индикация утечки — по пятнам керосина на меловой обмазке в местах течей) (ГСМ)</p> <p>1. Способ опрессовочный при давлении 0,5—5 кгс/см²</p>	—	$5 \cdot 10^{-2}$	То же	Замкнутые объемы (топливные отсеки)	Свободный доступ к наружной поверхности для нанесения меловой обмазки и наблюдения за ней
<p>2. Способ капиллярный при атмосферном давлении</p>	—	1,0	»	Незамкнутые объемы, заготовки и др.	Керосин наносится кистью
<p>VI. Пневмогидравлический метод аквариума (контрольный газ — воздух или азот; индикация утечки — по пузырькам газа в местах течей в воде или спирте) (ПГ-В)</p> <p>1. Метод ПГ-В (вода)</p>	—	$1 \cdot 10^{-2}$	»	Малогабаритные изделия, готовые изделия, узлы	Возможность погружения объекта в воду или спирт
<p>2. Метод ПГ-В (спирт)</p>	—	$5 \cdot 10^{-3}$	»	То же	
<p>VII. Пневмогидравлический метод (баро-аквариум) (контрольный газ — воздух или азот; индикация утечки — по пузырькам газа в местах течей в воде при создании разряжения над уровнем воды) (ПГ-Б)</p>	—	$5 \cdot 10^{-3}$ — 10^{-4}	»	Готовые изделия, узлы	Возможность погружения объекта в воду
<p>VIII. Акустический метод (контрольный газ — воздух или азот; индикация утечки — по ультразвуковым колебаниям, возникающим при истечении газа через неплотность)</p>	ШЧТИ	10	»	—	Возможность ориентации щупа относительно контролируемого места
<p>IX. Гидростатический метод контроля силовых гидравлических систем (контрольное вещество — рабочая жидкость; индикация утечки — по отпотеванию наружной поверхности элементов конструкций гидросистем или по масляным пятнам на фильтровальной бумаге) (ГМ-Г)</p>	—	1,0—2,0	»	Соединения трубопроводных систем	Свободный доступ для осмотра и протирки фильтровальной бумагой проверяемых соединений

Метод (способ) течеискания	Прибор-течescатель (шифр, тип)	Предельная чувствительность (д-мкм рт. ст./с)	Вид контроля	Объект контроля	Требования к конструкции объекта контроля
<p>X. Люминесцентный метод (контрольное вещество — люминесцентная жидкость типа ЛЖ-14, ЛЖ-15 и др.; индикация утечки — по свечению люминесцентной жидкости при облучении ультрафиолетовыми лучами):</p> <p>1. Способ люминесцентный опрессовочный (ЛОМ) (контрольное вещество — жидкость ЛЖ-15)</p> <p>2. Способ визуальный люминесцентный с применением жидкости ЛЖ-14</p> <p>3. Способ газолуминесцентный (контрольное вещество — газ CO₂ и люминесцирующая обмазка; индикация утечки — по свечению люминесцирующей обмазки в соединении с CO₂ при облучении ультрафиолетовыми лучами)</p> <p>4. Способ газолуминесцентный гидравлический (контрольное вещество — жидкость, газированная CO₂, и люминесцирующая обмазка)</p> <p>X Инфракрасный газовый метод (контрольный газ — закись азота; индикация утечки — по цифровому показывающему прибору и по звуковой и световой сигнализации)</p>	<p>УФО-4, ДРЩ-250</p> <p>То же</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>ИГТ-1</p> <p>То же</p> <p>»</p> <p>Манометры (образцовый, ртутный, водяной)</p> <p>АИСТ-1</p> <p>—</p>	<p>5·10⁻³</p> <p>2·10⁻²</p> <p>2·10⁻³</p> <p>5·10⁻³</p> <p>2·10⁻²</p> <p>2·10⁻²</p> <p>2·10⁻³</p> <p>Зависит от объема изделия и цены деления манометра</p> <p>2·10⁻³ (для объемов до 2000 л)</p> <p>Зависит от объема изделия и цены деления манометра</p>	<p>Локальных утечек</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>Суммарной негерметичности</p> <p>То же</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>»</p>	<p>Крупногабаритные агрегаты (отсеки, баки)</p> <p>То же</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>Все виды разъемных (ниппельные, фланцевые и т. п.) и неразъемных (сварные, паяные и т. п.) соединений и поверхности конструкций</p> <p>Готовые изделия, узлы, соединения систем</p> <p>То же</p> <p>Системы в сборе, баки</p> <p>То же</p> <p>»</p>	<p>Свободный доступ для подготовки проверяемой поверхности и нанесения люминесцентной жидкости</p> <p>То же</p> <p>»</p> <p>»</p> <p>Свободный доступ щупа к проверяемым местам</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p>
<p>XII. Манометрический метод (контрольное вещество — жидкость или газ; индикация утечки — по манометру или измерителю давления)</p> <p>1. Способ падения давления (СПД)</p> <p>2. Способ дифференциального манометра (СДМ)</p>					

Глава 4. ЧИСТОТА ВНУТРЕННИХ ПОЛОСТЕЙ И РАБОЧИХ СРЕД ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под технологичностью конструкции изделия в отношении требований промышленной чистоты следует понимать такую совокупность ее свойств, которая позволяет при минимальных затратах труда и средств получить необходимый класс чистоты внутренних полостей систем и агрегатов данного изделия и соответствующих рабочих сред (жидкостей, газов) в процессе производства и эксплуатации.

Технологичность конструкции может быть разделена на производственную и эксплуатационную. Первая оценивается степенью совершенства конструкции, позволяющей выполнять требования промышленной чистоты при изготовлении изделия существующими методами и средствами, вторая — степенью совершенства конструкции, позволяющей

обеспечивать высокую надежность и долговечность изделия при эксплуатации.

Оработка технологичности конструкции изделия в процессе проектирования должна осуществляться конструкторами и группой технологичности совместно со специалистами службы промышленной чистоты предприятия в последовательности, приведенной в табл. II.4.1.

Повышение технологичности изделия в рассматриваемом аспекте имеет целью создание такой конструкции, которая была бы менее чувствительна к загрязнениям и исключала причины их возникновения.

Загрязнениями внутренних полостей и рабочих жидкостей трубопроводных систем являются частицы различной природы, формы и размеров, находящиеся на поверхностях деталей, узлов и элементов систем, а также во взвешенном состоянии в рабочих средах.

По причинам и условиям возникновения загрязнения подразделяются на технологические, возникающие в процессе производства изделий, и эксплуатационные, образующиеся при работе изделий. Наиболее распространенными загрязнениями являются:

- металлические частицы (заусенцы, стружка, продукты износа деталей пар трения и т. п.);
- частицы материалов обрабатывающих инструментов (абразивные зерна, сколы режущих кромок и др.);
- частицы отслоившихся антикоррозионных покрытий, окалины, остатки формовочной земли и т. п.;
- частицы, попадающие во внутренние полости трубопроводных систем и в рабочие жидкости из окружающей среды (пыль, волокна, вода и др.);
- продукты распада рабочей жидкости и консервирующих составов;
- микробиологические загрязнения (грибки, колонии бактерий и коагулированные продукты их жизнедеятельности).

Классификация основных источников загрязнений трубопроводных систем приведена на схеме.

Природный состав загрязнений разнообразен и нестабилен. Он зависит от многих факторов конструктивного, производственного и эксплуатационного характера изделий. Химический состав наиболее распространенных загрязнений в жидкостных

Таблица II.4.1

Стадия разработки конструкторской документации	Основное содержание отработки конструкции изделия на технологичность
Техническое задание Техническое предложение	Установление классов чистоты рабочей среды систем изделия. Анализ вариантов возможных конструктивных решений изделия. Выявление оптимального (с точки зрения требований промышленной чистоты) варианта. Анализ гидравлической схемы и компоновки изделия. Определение мест установки фильтров.
Эскизный проект	Технологический контроль конструкторской документации. Анализ принципиальных конструктивных решений с учетом совместимости материалов с рабочими средами, габаритных размеров и геометрии внутренних полостей системы и ее элементов. Принятие решения о технологичности членения конструкции, мерах предупреждения и ликвидации источников загрязнения, которые могут возникать при изготовлении, сборке и техническом обслуживании изделия.
Технический проект	Технологический контроль конструкторской документации. Принятие окончательного решения о технологичности конструкции и классах чистоты системы, ее элементов и составных частей.
Разработка рабочей документации	Технологический контроль конструкторской документации. Обеспечение технологичности конструкции и классов чистоты системы и ее элементов.
а) опытного образца	Окончание, в основном, отработки на технологичность конструкции. Конкретизация условий обеспечения основных требований на технологичность, в том числе использования типовых технологических процессов очистки, промывки и технологического оборудования, в соответствии с объемом выпуска изделий.
б) установочных серий	Доведение конструкции до соответствия требованиям установленного объема мероприятий по обеспечению чистоты с учетом применения наиболее эффективных методов и средств.
в) установившегося серийного производства	Окончательная отработка изделия и технологического процесса на соответствие требованиям промышленной чистоты в период изготовления и испытания головной серии.

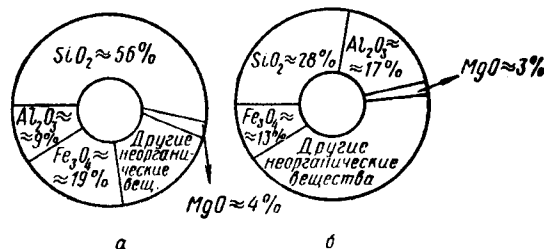


Рис. II.4.1. Диаграмма природного состава загрязнений:

а — на этапе окончательной сборки агрегатов;
б — на испытательной станции.



системах самолетов приведен на диаграмме (рис. II.4.1), а гранулометрический — на графике (рис. II.4.2), построенном по результатам экспериментальных исследований гидравлических систем различных типов самолетов.

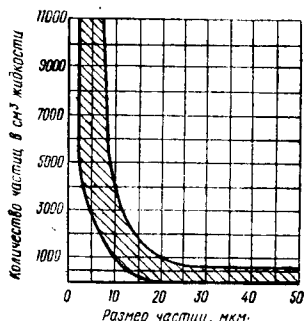


Рис. II.4.2. Характеристика гранулометрического состава загрязнений гидравлических систем.

Исключение источников загрязнений или уменьшение их числа при разработке конструкций трубопроводных систем — один из путей повышения технологичности данной конструкции в отношении выполнения требований промышленной чистоты.

Чистота внутренних полостей трубопроводных систем, их элементов и агрегатов определяется классом чистоты находящихся в них рабочих жидкостей или газов. Класс чистоты, в свою очередь, регламентирует допустимое количество загрязнений (механических примесей, свободной воды и др.) в указанных рабочих средах по массе или гранулометрическому составу частиц загрязнений.

В настоящее время чистота рабочих сред, применяемых в системах изделий, может быть регламентирована рядом ГОСТ или ОСТ. Для изделий авиационной техники разработан ОСТ 1.00160—75, устанавливающий классы чистоты жидких рабочих сред для соответствующих систем с предельно допустимыми количествами загрязнений: для гидравлических систем — не ниже 8-го; для топливных систем — не ниже 9-го; для масляных систем — не ниже 13-го (по ГОСТ 17216—71).

Количественное содержание загрязнений в каждом из указанных классов должно соответствовать величинам, приведенным в табл. II.4.2.

Таблица II.4.2

Классы чистоты жидкостей	Число частиц загрязнений в объеме жидкости $100 \pm 0,5 \text{ см}^3$, не более, при размере частиц, мкм						Масса загрязнений, % не более
	Св. 5 до 10	Св. 10 до 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200	Волокна	
8-й	4000	2000	200	25	6	3	0,0004
9-й	8000	4000	400	50	12	4	0,0006
13-й	—	63 000	6300	800	200	40	0,005

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ

Назначение класса чистоты систем изделий и их агрегатов производится разработчиком в процессе проектирования на основе целевых исследований чувствительности к загрязнениям входящих в систему ответственных узлов и элементов. При этом следует руководствоваться указаниями МУ 48—79.

В целях исключения источников загрязнения систем или уменьшения их числа в процессе разработки их конструкций, а также составных ответственных элементов и узлов необходимо учитывать следующие основные факторы:

- тип рабочей среды и ее физико-химические свойства;
- рабочие давления в системе;
- рабочие температуры среды в системе и окружающем пространстве;
- требуемый класс чистоты внутренних полостей системы и ее рабочей среды.

Каждый из указанных факторов требует соблюдения и учета при проектировании ряда особенностей и требований (табл. II.4.3).

Основным условием при разработке новых конструкций и моделей систем является максимально возможная преемственность тех узлов и элементов, которые при длительной эксплуатации на предыдущих типах и моделях изделий проявили минимальную чувствительность к загрязнениям.

Одним из путей повышения технологичности конструкции системы является создание модулей узлов и элементов, что позволяет:

- ускорить отработку модулей на соответствие требованиям промышленной чистоты и повысить уровень преемственности их в последующих конструкциях изделий;
- определить рациональную специализацию производства по изготовлению отдельных модулей с учетом обеспечения требуемой чистоты;
- значительно упростить технологию обеспечения чистоты изготавливаемых узлов и снизить трудоемкость соответствующих операций;
- упростить и удешевить систему технического обслуживания с учетом требований промышленной чистоты при эксплуатации изделия,

Таблица П.4.3

Фактор, учитываемый при проектировании	Особенности проектирования
Тип рабочей среды (жидкости, газа) и ее физико-химические свойства	<p>Выбор конструкционных материалов для деталей и элементов систем с учетом их совместимости с данной рабочей жидкостью или газом (свойства материала не должны изменяться и вызывать изменений свойств рабочей среды при взаимодействии с последней во всем диапазоне температур, давлений и других рабочих характеристик системы).</p> <p>Выбор защитных, антикоррозионных и лакокрасочных покрытий поверхностей деталей и элементов трубопроводных систем, контактирующих с рабочими средами (выбранные покрытия должны быть износостойкими, не подвергаться шелушению или отслаиванию).</p>
Рабочие давления в системе	<p>Правильный выбор конфигурации трубопроводных элементов и системы в целом, так как несоблюдение соответствующих требований может привести к увеличению скоростей потока жидкости на отдельных участках, сопровождающемуся повышенной местной эрозией металла.</p> <p>Правильный подбор стыкуемых элементов трубопроводных систем с различными проходными сечениями в целях исключения очагов кавитации и застойных зон.</p>
Температура рабочей среды в системе и за ее пределами	<p>Выбор такой рабочей среды, чтобы влияние температурного режима не приводило к созданию условий для осмоления или распада рабочей жидкости при повышенных температурах и к возникновению резких перепадов давлений на отдельных участках системы (например, на фильтрах) при понижении температуры.</p>
Класс чистоты системы	<p>Выбор общей схемы компоновки системы, обеспечивающей</p> <ul style="list-style-type: none"> — исключение образования тупиковых и застойных зон; — защиту от загрязнений наиболее чувствительных к ним элементов с помощью фильтров и других средств; — конструирование коммуникаций трубопроводов минимальной протяженности; — объективные методы контроля чистоты системы.

Основными требованиями, определяющими уровень технологичности конструкции в отношении обеспечения чистоты внутренних полостей изделий и их рабочих сред, являются:

— создание конструкции систем изделий и их элементов с минимальной чувствительностью к загрязнениям;

— обеспечение надежной защиты от загрязнений наиболее чувствительных элементов и узлов системы;

— правильное определение предельно допустимого уровня загрязненности системы, при котором может быть обеспечена требуемая эксплуатационная надежность и долговечность, и регламентирование этого условия соответствующим классом чистоты;

— разработка конструкции системы и ее элементов с учетом возможности использования наиболее эффективных методов и средств обеспечения заданного класса чистоты в процессе производства;

— обеспечение заправки системы рабочей жидкостью закрытым способом через специальные разъемные клапаны;

— обеспечение надежной защиты внутренних полостей системы от попадания загрязнений из окружающей атмосферы через дренажные устройства, а также загрязнений, образующихся в процессе изготовления, монтажа и работы изделия;

— выполнение требований, предъявляемых к монтажу жестких и гибких элементов трубопроводных систем в отношении исключения причин разрушения их внутренних поверхностей, в соответствии с указаниями РТМ 1.4.534—79 ч. II и гл. 2 настоящего Руководства;

— создание конструкций баков и систем, обеспечивающих полный слив остатков жидкости, оснащение их водосборными устройствами с краями слива отстоя из нижних точек. Для систем с большим объемом жидкости и разветвленными коммуникациями целесообразно предусматривать коллекторную систему слива отстоя или устройства, обеспечивающие циркуляцию жидкости при сливе.

Для выполнения указанных требований при разработке конструкции трубопроводных элементов систем следует:

— изготавливать жесткие элементы систем из нержавеющей стали типа 1X18H9T, X18H10T или титановых сплавов BT1, OT4-0,7M и т. п., как менее подверженных межкристаллитной коррозии и более устойчивых к вибрационным нагрузкам;

— исключать применение в конструкциях трубопроводных систем (топливных, масляных) элементов из латунных, медных и т. п. материалов, так как медная компонента последних имеет тенденцию к взаимодействию с сульфокислотами и серной кислотой (продуктами глубокого окисления меркаптанов, содержащихся в топливах), в результате на фильтрах и внутренних поверхностях происходит отложение образующихся нерастворимых осадков;

— исключать применение кадмирования поверхностей элементов систем, контактирующих с топливами, а также покрытий других видов, содержащих свинец, так как при наличии в топливах свободной серы образуются агрессивные ее соединения, приводящие к разрушению кадмиевых покрытий и коррозии свинца и меди. Коррозия указанных металлов и их сплавов резко возрастает с повышением температуры топлива;

— использовать в качестве гибких участков трубопроводных систем фторопластовые рукава. Следует избегать применения гофрированных металлорукавов;

— исключать из конструкций рукава из резиноканевых материалов, так как внутренняя поверхность этих рукавов быстро разрушается под действием топлив и масел, что приводит к засорению системы продуктами разложения резины;

— применять в газозвудушных или жидкостных магистралях с низкими давлениями, расположенных вдали от интенсивных источников вибрации,

трубопроводы из алюминиевых сплавов типа АМг или АМц;

— предусматривать меры к снижению до минимума пульсаций давления и гидроударов жидкости в системе, являющихся причинами отрыва частиц загрязнений от внутренних поверхностей трубопроводов и других элементов системы, а также образования очагов местной эрозии. Для предупреждения образования указанных источников загрязнений следует применять гасители пульсаций давления и специальные устройства (газожидкостные аккумуляторы, вставки из гибких шлангов, фильтры, компенсаторы и т. п.). Схемы некоторых типов гасителей приведены на рис. II.4.3;

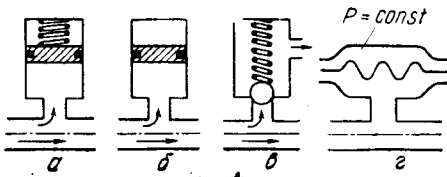


Рис. II.4.3. Типы гасителей гидроударов и пульсаций давления жидкости: а, б — поршневой; в — клапанный; г — мембранный.

— предусматривать меры для уменьшения собственных колебаний и вибрации магистралей трубопроводных систем, оказывающих влияние на износ их внутренних поверхностей, методом понижения распределенной упругости трубопроводов путем замены материала трубопроводов (там, где это возможно) другим, с меньшим модулем упругости (например, из неметаллических материалов), замены участка трубопровода вставкой некруглого сечения (например, в форме эллипса, эллипсоиды, гипоциклоиды и т. п.), применения специальных гасителей вибрации, например типа, показанного на рис. II.4.4;

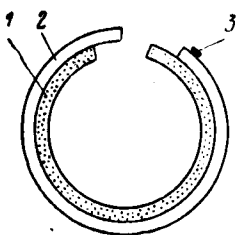


Рис. II.4.4. Гаситель упругих колебаний:

1 — виброгасящий материал (свинец, войлок, резина и т. п.); 2 — стальное кольцо; 3 — стягивающий винт.

— сводить к минимуму число резьбовых, паяных и сварных соединений и, в первую очередь, имеющих выход в полости, омываемые рабочими жидкостями или газами;

— исключать застойные зоны и тупики в трубопроводных системах путем увеличения радиусовгиба труб;

— не допускать выступания концов штуцеров и труб в местах неразъемных соединений в полости, омываемые потоком жидкости;

— исключать, по возможности, применение прямоугольной соединительной арматуры, заменяя ее прямооточной или имеющей максимальный радиусгиба;

— максимально унифицировать радиусыгиба труб, что способствует применению механизированных способов гибки, без использования наполнителей, в том числе сыпучих, являющихся источниками загрязнения внутренних полостей трубопроводов;

— предусматривать радиусную развальцовку концов труб, обеспечивающую меньшую площадь трения контактирующих поверхностей соединяемых элементов системы в процессе эксплуатации, а также при устранении монтажных неточностей и производственных отклонений;

— предусматривать шероховатость механообрабатываемых поверхностей деталей трубопроводных систем, омываемых рабочими жидкостями, в пределах $\sqrt{2,5} - \sqrt{1,25}$ по ГОСТ 2.789—73;

— предусматривать возможность технологической промывки конструкций систем в целом и по элементам. При этом максимальная протяженность промываемого элемента не должна превышать 12 м;

— предусматривать в технической документации требования по замене рабочих фильтров и других ответственных элементов систем технологическими при промывках и отработке систем для предотвращения их преждевременного засорения;

— отдавать предпочтение фланцевым соединениям трубопроводов (рис. II.4.5—II.4.7) перед резьбовыми;

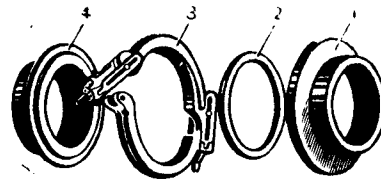


Рис. II.4.5. U-образное соединение трубопроводных элементов:

1 — наружный фланец; 2 — уплотнение; 3 — хомут стяжной; 4 — внутренний фланец.

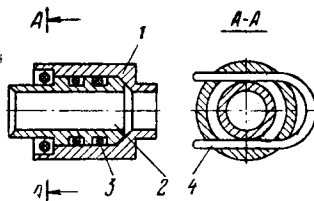


Рис. II.4.6. Самоконтрящееся безрезьбовое соединение:

1 — корпус; 2 — штуцер; 3 — кольцо резиновое; 4 — фиксатор (скоба).

Рис. II.4.7. Соединение труб с защелкивающимся замком.

(Пат. США № 3784235, кл. 285—21).

— предусматривать оснащение системы средствами фильтрации, обеспечивающими очистку циркулирующих рабочих сред до требуемых классов чистоты в целях обеспечения безотказной работоспособности ее агрегатов и узлов.

При разработке конструкций корпусных деталей

— не допускать образования застойных и тупиковых зон, а также очагов кавитации при выборе схем размещения внутренних полостей и соединительных каналов;

— назначать величину шероховатостей поверхностей деталей, омываемых рабочей жидкостью, $2,5 \ 1,25$ в пределах $\nabla - \nabla$ по ГОСТ 2.789—73;

— предусматривать размещение полостей для узлов управления и регулирования с возможностью свободного подхода к ним с наружных поверхностей деталей;

— не допускать применения прессовых и резьбовых соединений узлов и деталей с корпусами;

— применять способы армирования наиболее ответственных мест корпусных деталей, работающих в условиях трения, специальными вставками из износостойчивых материалов;

— не допускать применения для жидкостных систем литых корпусных деталей, получаемых методом литья в землю;

— для сообщения между отдельными полостями корпусных деталей предусматривать автономные трубопроводы с ниппельным или фланцевым соединениями (рис. II.4.8 и II.4.9);

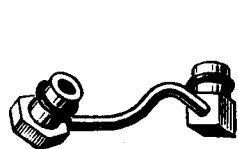


Рис. II.4.8. Автономный трубопровод с ниппельным соединением.

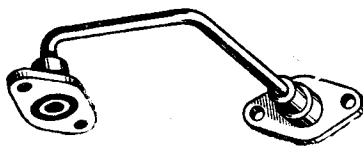


Рис. II.4.9. Автономный трубопровод с фланцевым соединением.

— ограничивать величины тупиковых зон, образующихся в местах пересечения соединительных каналов и при постановке технологических заглушек в пределах, указанных на рис. II.4.10;

— предусматривать изготовление канальной системы в литых корпусных деталях способами, рекомендуемыми в РТМ-1421—73.

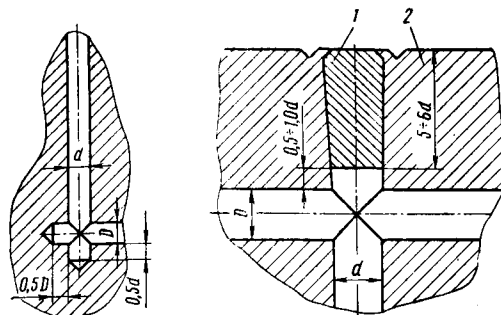


Рис. II.4.10. Виды тупиковых зон в корпусных деталях и их допустимые величины:

а — при сверлении; б — при постановке технологических заглушек.

При проектировании прецизионных пар следует: — учитывать конструктивные признаки прецизионной пары и факторы, обуславливающие воз-

Таблица II.4.4

Классификация прецизионных пар

Тип прецизионной пары	Отличительные признаки		
	функциональные	конструктивные	кинематические
Первый	Чувствительный элемент регулирующего устройства	Цилиндрическая золотниковая пара	Вибрирующая золотниковая пара, характеризующаяся вибрационными перемещениями золотника под действием изменяющегося давления рабочей жидкости при двустороннем осевом нагружении
Второй			Вращающаяся золотниковая пара, характеризующаяся такими же кинематическими признаками, как и пара первого типа, и, кроме того, принудительным вращением золотника
Третий	Распределительное устройство следящей системы или позиционного переключателя	Цилиндрическая золотниковая пара	Золотниковая пара периодического действия, характеризующаяся возвратно-поступательным перемещением золотника, имеющего односторонний механический привод и периодически находящегося в покое относительно гильзы, при непрерывном протекании рабочей жидкости по зазору пары
Четвертый		Плоская золотниковая пара	Золотниковая пара периодического действия, характеризующаяся такими же кинематическими признаками, как и пары третьего типа, и, кроме того, возвратно-вращательными перемещениями золотника
Пятый	Вытеснительный элемент насоса или силовой элемент гидромотора	Плунжерная, пластинчатая и поршневая пары	Реверсивная пара, характеризующаяся возвратно-поступательными перемещениями плунжера (поршня) относительно гильзы (ротора) при одновременном взаимодействии с обоймой упорного подшипника

возможность ее отказов из-за наличия загрязнений, (табл. II.4.4 и II.4.5);

— ограничивать величины отклонений от правильной геометрической формы зазоров и шероховатости прецизионных деталей в пределах:

точность геометрических форм, мкм 0,2—0,1
 точность диаметров размеров, мм 0,01—0,02
 диаметральный зазор пар, мкм 1—3
 шероховатость поверхностей трения 0,080—0,040
 по ГОСТ 2.309—73

— предусматривать изготовление отсечных кромок отверстий золотниковых устройств с радиусом 0,1 мм, что обеспечивает стабильный расход жидкости и исключает дальнейший износ кромки;

— выбирать величины перекрытий дозирующих отверстий с учетом исключения явлений облитерации отсечных кромок при движении рабочей жидкости;

— выбирать для деталей прецизионных пар в качестве конструкционных материалы, не требующие применения защитных покрытий;

— подбирать (по возможности) для деталей пары материалы с одинаковым коэффициентом линейного расширения или предусматривать их изготовление из одного и того же материала, что способствует стабилизации зазоров по сопрягаемым поверхностям.

Таблица II.4.5

Причины возникновения отказов прецизионных пар и способы их предотвращения

Тип прецизионной пары	Первый	Второй	Третий	Четвертый	Пятый	
Отказы, вызванные нарушением стабильности трения	Локальное схватывание	Лавинное схватывание	Заклинивание твердыми частицами, превышающими по размеру диаметральный зазор; неуравновешенной гидростатической силой при облитерации зазора твердыми частицами и смолой	Заклинивание твердыми частицами, превышающими по размеру зазор; локальное схватывание	Заклинивание продуктами разрушения деталей; лавинное схватывание	
Факторы, обуславливающие возникновение отказов	Условия нагружения	Вибрационное проскальзывание деталей при перекосе под действием момента от эксцентрично приложенных осевых сил	Вращение золотника со скоростью, достигающей критического значения	Периодически неподвижное состояние золотника при протекании жидкости по зазору	Гидростатическая неуравновешенность золотника	Реверсивные перемещения с высоким амплитудным значением скорости и контактным давлением
	Свойства материала и состояние поверхности	—	—	—	Низкая твердость	Контактная усталость материала сферической поверхности плунжеров
	Свойства рабочей жидкости	—	Загрязнение частицами, имеющими твердость, соизмеримую с твердостью поверхности деталей	Загрязнение твердыми частицами и асфальто-смолистыми образованиями	Загрязнение твердыми частицами, соизмеримыми с зазором	—
Способы предотвращения отказов	Условия нагружения	Непрерывное вращение золотника, устранение перекоса, уменьшение нагрузки, ограничение минимальной амплитуды	Ограничение скорости скольжения ($v < 1$ м/с), уменьшение нагрузки	Непрерывное вращение или вибрационные перемещения	Гидростатическая уравновешенность золотника	Ограничение скорости скольжения, уменьшение нагрузки
	Свойства материалов и состояние поверхности	Повышение твердости, износостойкости; пористость и создание искусственного микрорельефа на поверхности	Повышение температурной стойкости, исключение скалывания и выкрашивания материала поверхностных слоев	Правильные геометрические формы и низкая шероховатость поверхности; отсечные кромки без сколов и прорезей	Повышение твердости; пористость и создание искусственного микрорельефа на поверхности	Повышение температурной стойкости и сопротивляемости контактной усталости
	Свойства рабочей жидкости	Повышение проникающей и смазывающей способности	Улучшение фильтрации, повышение температурной стойкости и смазывающей способности	Улучшение фильтрации, уменьшение вязкости	Улучшение фильтрации, повышение проникающей и смазывающей способности	Повышение температурной стойкости, смазывающей способности и уменьшение вязкости

При проектировании деталей и узлов уплотнения в системах необходимо

- учитывать влияние рабочих жидкостей (топлива, масла, смазки и т. п.) на эксплуатационные характеристики резиновых материалов, то есть их совместимость в отношении агрессивности той или иной жидкости по отношению к данному материалу;

- выбирать для уплотнительных элементов систем, работающих в условиях повышенных температур (до 150 °С и выше), резину на основе фторкаучука;

- предусматривать для резиновых уплотнений круглого сечения группу точности (как для подвижных, так и неподвижных соединений) не хуже 2; отсутствие на поверхности резиновых колец заусенцев, раковин, пузырей, трещин и каких-либо посторонних включений; тщательное удаление облоя без повреждения прилегающей поверхности с ограничением оставшихся следов удаленного облоя высотой не более 0,1 мм на сторону;

- предусматривать для поверхностей деталей, на которых предполагается размещать уплотнительные элементы, способ покрытия поверхностей штоков из сталей — твердое анодирование, из алюминиевых сплавов — хромо-кислотное анодирование или прибегать к известным способам поверхностного упрочнения; соблюдение соответствующих размеров канавок и посадочных мест; обеспечение смазки трущихся поверхностей в подвижных пневмоустройствах; меры предохранения от выдавливания резины в зазор между уплотняемыми деталями давлением рабочей среды путем применения защитных колец из фторопласта;

- предусматривать для армированных резиновых манжет следующие требования:

- гладкость рабочих поверхностей и кромок;
- отсутствие вырывов, трещин, пузырей, расслоений, заусенцев, включений и неровностей, превышающих 0,3 мм;

- отсутствие в местах разреза пресс-форм выпре-совок, превышающих 0,5 мм;

- радиус рабочих кромок не более 0,2 мм;
- отсутствие на поверхностях каркасов заусенцев, окалины и других дефектов;

- выполнение конструктивных размеров манжетных уплотнений по ОСТ 1.76388—76;

- назначение для поверхностей деталей, где будут размещаться манжетные уплотнения, 8-го или 9-го класса шероховатости (ГОСТ 2789—73) по валу и 6-го — по отверстию, твердость стальной поверхности должна быть не менее HRC ... 30.

Обеспечение и поддержание заданных норм чистоты внутренних полостей систем изделий должно осуществляться применением соответствующих средств очистки от загрязнений рабочих сред. При размещении этих средств в конструкции изделия следует:

- защищать внутренние полости и рабочие среды от попадания загрязнений из окружающей атмосферы через дренажные или суфлирующие устройства;

- улавливать загрязнения, генерируемые в системе узлами и парами трения в результате их износа;

- защищать ответственные узлы и элементы систем средствами тонкой фильтрации;

- оснащать системы магнитными фильтрами и пробками для улавливания ферромагнитных частиц загрязнений в местах вероятного скопления продуктов износа.

При выборе мест и схем размещения фильтров в системе следует учитывать:

- первоначальный уровень загрязненности рабочей среды;

- наличие во внутренних полостях узлов, элементов и агрегатов системы технологических загрязнений, образующихся при их изготовлении;

- образование продуктов износа узлов и элементов системы;

- протяженность коммуникаций системы.

Подбирать фильтры следует с учетом чувствительности системы к загрязнениям, ее ресурса и требуемого уровня надежности, а также функционального назначения и применяемой рабочей среды.

В табл. II.4.6 приведены результаты исследования фильтрующей способности сеток фильтровальных материалов, используемых в фильтроэлементах.

Таблица II.4.6

Номинальная тонкость фильтрации материала, мкм	Класс чистоты жидкости по ГОСТ 17216—71	
	до фильтрации	после филь- трации
5	9	3
16	10	4
28	10	5
36	10	6
40	12	8
76	13	9

Для систем кратковременного действия и разового применения фильтры целесообразно подбирать так, чтобы на протяжении предполагаемого ресурса изделия не производить регламентных работ. Грязеемкость фильтров должна быть достаточной для того, чтобы за период эксплуатации перепад давлений на них не превышал предельно допустимый уровень.

При конструировании системы следует предусматривать удобный подход к фильтрам в целях осуществления их съема и установки при проведении регламентных работ по промывке и очистке от загрязнений без демонтажа других элементов системы.

Для исключения излишних или преждевременных промывок фильтров, устанавливаемых в системах, а также для предотвращения их загрязнения сверх допустимого уровня рекомендуется использовать фильтры с сигнализаторами перепада давлений дистанционного типа. Например, устанавливаемый в маслосистеме двигателя АИ-24Ш фильтр тонкой очистки МФ-24 с сигнализатором перепада давления СП-0,6Э, обеспечивающий своевременное определение степени его загрязнения стружкой или другими частицами.

Фильтры, встраиваемые в чувствительные к загрязнениям узлы и агрегаты систем, должны иметь грязеемкость, большую суммы загрязнений, которые могут осесть на нем из рабочей жидкости за время работы изделия.

При выборе мест размещения фильтров в системе следует учитывать, что стабильность гранулометрического состава загрязнений в жидкости после ее прохождения через фильтр сохраняется только на ограниченной длине потока. В табл. II.4.7 приведены данные о длине потока для различных жидкостей, где не наблюдается коагуляция отфильтрованных частиц в более крупные.

Таблица II.4.7

Класс чистоты жидкости, по ГОСТ 16216—71, обеспечиваемый фильтрами системы	Максимальная длина, м, потока жидкости за фильтром, в котором не наблюдается коагуляция частиц размером, мкм			
	50—100		25—50	
	Re<2000	Re>2000	Re<2000	Re>2000
5	8	12	1,6	2,4
6	6	8	1,2	1,6
7	4	6	0,8	1,2
8	2	4	0,4	0,4
9	1,5	3	0,3	0,6
10	1,0	2,5	0,2	0,5

Примечание. Дальнейшие расчеты для фракций менее 25 мкм затруднены из-за малой агрегативной устойчивости частиц этих размеров. Однако указанные закономерности являются общими и имеют тенденцию к уменьшению приведенных в табл. II.4.7 величин.

При проектировании жидкостных и газовых систем изделий необходимо тщательно выбирать конструкционные материалы для komponующих деталей, имеющих непосредственный контакт с соответствующими рабочими жидкостями и газами. При этом важно обеспечивать совместимость этих материалов с применяемой рабочей средой в отношении снижения коррозионной агрессивности, повышения противоизносных свойств жидкостей, а также исключения каталитического влияния выбранных металлов, приводящего к образованию твердых нерастворимых осадков, коксообразованию, осмолению и т. п. загрязнений в системах.

ОТРАЖЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧИСТОТЫ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В технической документации на вновь разрабатываемые трубопроводные системы должны быть отражены:

а) класс чистоты применяемой рабочей среды, которым оценивается чистота жидкости или газа, циркулирующего в системе, и чистота внутренних полостей этой системы;

б) особые условия производства, в зависимости от установленного класса чистоты системы;

в) условия консервации, хранения и транспортировки деталей, узлов и окончательно собранных изделий;

г) методы контроля чистоты изделий и рабочих сред.

Указанные требования должны быть записаны в специальном разделе ТУ и рабочих чертежах тех деталей, узлов и элементов системы, при изготовлении которых необходимо соблюдать особые условия.

Классом чистоты должны быть регламентированы все рабочие среды, применяемые в данных системах (топлива, масла, гидрожидкости, консервирующие составы, газы). При этом, помимо указания классов по соответствующему ГОСТу, должен быть приведен гранулометрический или массовый (в %) состав допустимого количества загрязнений, определенных данным классом.

Исходя из установленного класса чистоты изделия и его рабочих сред в упомянутом разделе ТУ указывают особые условия и требования, касающиеся организации производства и рабочих мест, с учетом обеспечения чистоты отдельных деталей и элементов трубопроводных систем на тех или иных этапах технологических процессов (например, сборка, промывка, обработка, испытания, консервация, контроль чистоты и др.).

В рабочих чертежах деталей, узлов и элементов трубопроводных систем обязательно отражать требования по очистке их от загрязнений, исходя из предусматриваемой технологии обработки. Обязательно указывать требования по очистке контактирующих с рабочими жидкостями поверхностей деталей, которые подвергаются различным видам механической обработки, сопровождающимся снятием металла (резание, сверление, фрезерование, шлифование, доводка и т. п.). Следует указывать на необходимость тщательной очистки от жировых и масляных загрязнений поверхностей деталей и элементов кислородных систем.

В чертежах деталей и элементов систем, получаемых литьем, особенно способами с применением песчаных и глинистых форм, поверхности которых в дальнейшем не подвергаются обработке, должны быть указаны требования по их очистке от остатков формовочных смесей. В особых случаях целесообразно указывать конкретные методы и средства выполнения соответствующих операций из числа наиболее эффективных (электрохимические, ультразвуковые, виброхимические, специальные и т. п.), с помощью которых может быть обеспечена качественная очистка от загрязнений или получена поверхность с меньшим количеством загрязнений, например:

— удаление заусенцев в труднодоступных местах деталей по ОСТ 1.41329—72 и РТМ-1402;

— получение резьбовых отверстий по ОСТ 1.51782—74 и ОСТ 1.51783—74;

— обработка отверстий в деталях без применения режущего инструмента по ОСТ 1.41536—74 или ОСТ 1.41328—72.

Методы и средства контроля на соответствие установленным классам чистоты следует назначать, руководствуясь ОСТ 1.41144—80; ОСТ 1.41145—81; ОСТ 1.41372—81.

Контроль качества очистки поверхностей деталей, узлов, собранных систем и их рабочих сред должен осуществляться с учетом возможных методов и средств очистки от загрязнений. Для контроля чистоты жидких рабочих сред следует применять методы и средства, указанные в ОСТ 1.41086—71; ОСТ 1.51406—72÷ОСТ 1.51411—72.

При необходимости установления ограничений по микроклиматическим условиям соответствующих производственных помещений следует руководствоваться указаниями ОСТ 41519—86 и назначать методы контроля по ОСТ 1.80001—70 или ОСТ 1.80086—73.

В технической документации целесообразно указывать требования к проведению монтажных работ, от которых зависит обеспечение чистоты внутренних полостей системы при сборке, например:

— необходимость правильного подбора монтажного инструмента, с учетом размерности ключей, отверток и др.;

— использование ключей с открытыми концами, а не трубчатой конструкции;

— исключение применения герметика;

— снятие с концов трубопроводных элементов технологических заглушек только перед установкой их в систему;

— необходимость тщательной защиты внутренних полостей собираемых систем при перерывах в работе и в процессе монтажа.

В качестве обязательных должны быть указаны требования по обеспечению чистоты технологического оборудования, которое предполагается использовать для отработки и испытания элементов, узлов и систем в целом. Для назначения указанных требований следует руководствоваться ОСТ 1.41588—75.

Технические условия, инструкции по эксплуатации, чертежи и другие документы, в которых отражаются требования промышленной чистоты, должны быть согласованы со службой промышленной чистоты предприятия, подтверждающей достаточный уровень технологичности данной конструкции изделия.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧИСТОТЫ

Основным показателем технологичности следует считать суммарные затраты Z_{Σ} , которые потребуются в процессе изготовления и эксплуатации данного изделия для обеспечения заданного класса чистоты его внутренних полостей и рабочих сред

$$Z_{\Sigma} = I_{\Sigma} + \Theta_{\Sigma}, \quad (1)$$

где I_{Σ} — предполагаемые затраты в процессе производства;

Θ_{Σ} — предполагаемые затраты в процессе эксплуатации.

В свою очередь, производственные затраты, связанные с обеспечением чистоты изделия, могут быть представлены в виде суммы затрат

$$I_{\Sigma} = Z_0 + \frac{K_0 O_{\Sigma} + K_M M_{\Sigma} + J_M + B}{N_T}, \quad (2)$$

где Z_0 — зарплата рабочего персонала, занятого на операциях очистки при изготовлении одного изделия;

K_0 — коэффициент амортизации специальной оснастки;

O_{Σ} — стоимость специальной оснастки, используемой при очистных операциях;

K_M — коэффициент амортизации очистного (промывочного) оборудования;

M_{Σ} — стоимость очистного (промывочного) оборудования;

J_M — стоимость моющих жидкостей, применяемых при очистных операциях;

B — стоимость других вспомогательных материалов, применяемых при очистных операциях;

N_T — годовая программа выпуска изделий.

Затраты на обеспечение чистоты изделий в процессе эксплуатации могут быть представлены следующими составляющими:

$$\Theta_{\Sigma} = Z_{p,\Sigma} + Z_{y,\Sigma} + Z_{a,\Sigma}, \quad (3)$$

где $Z_{p,\Sigma}$ — затраты на регламентное обслуживание, связанное с обеспечением чистоты изделия (промывка и замена фильтров, промывка гидросистем, замена жидкости и т. п.);

$Z_{y,\Sigma}$ — затраты на устранение неисправностей, связанных с обеспечением чистоты изделия (замена узлов, элементов и деталей, оказавшихся неисправными из-за наличия загрязнений);

$Z_{a,\Sigma}$ — затраты, связанные с заменой отдельных агрегатов по дефекту из-за наличия загрязнений.

Для сравнения степени технологичности конструкции указанные выше показатели должны быть рассчитаны применительно к новой модели изделия и конструкции изделия, по которому предполагается проводить сравнение. Сравниваемыми изделиями могут быть:

базовое, выполняющее одинаковые функции с проектируемым и имеющее аналогичную с ним конструкцию;

типовое — абстрактное (воображаемое), составленное из деталей, узлов и элементов реально существующих изделий, аналогичных по конструкции и назначению проектируемому;

идентичное — выполняющее одинаковые функции с проектируемым, но отличающееся от него по конструкции.

Сравнение уровня технологичности нового изделия и указанных конструкций должно производиться по удельным суммарным затратам, отнесенным к единице полезности,

$$\bar{Z}_{\Sigma} = \frac{Z_{\Sigma} \cdot P_{\Sigma}}{Z_{c,\Sigma} \cdot P_c} = \frac{\bar{Z}_{\Sigma}}{\bar{Z}_{c,\Sigma}}, \quad (4)$$

где \bar{Z}_{Σ} и $\bar{Z}_{c,\Sigma}$ — суммарные затраты на обеспечение промышленной чистоты нового и сравниваемого изделий;

P_{Σ} и P_c — полезности нового и сравниваемого изделий;

\bar{Z}_{Σ} и $\bar{Z}_{c,\Sigma}$ — удельные суммарные затраты, отнесенные к единице полезности.

Под полезностью изделия в данном случае следует понимать наработку на отказ, так как повышение показателей промышленной чистоты изделия имеет прямое отношение к увеличению его надежности и долговечности.

Условием для оценки технологичности является требование, при котором стоимость единицы полезности вновь разрабатываемого изделия не должна превышать того же показателя у сравниваемого изделия, то есть

$$\bar{Z}_{н.ч} \leq \bar{Z}_{с.ч}. \quad (5)$$

Величина наработки изделия на отказ может быть вычислена по формуле

$$T_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (6)$$

где n — количество отказов, вызванных наличием загрязнений;

t_i — время наработки изделия при проведении соответствующих испытаний.

При отсутствии данных по наработке на отказ расчет полезности изделия может быть произведен через показатель надежности, под которой понимается вероятность безотказной работы. В этом случае при расчете учитывается функциональная зависимость надежности изделия от фактически обеспечиваемого класса чистоты его внутренних полостей и рабочих сред, причем предполагается, что эта зависимость линейна, и отказ любого из элементов приводит к потере всего изделия.

Изменение надежности с повышением чистоты изделия может быть определено по формуле

$$\Delta H = \Delta R \frac{H}{(R_0 - R_{TY}) K}, \quad (7)$$

где ΔR — количество классов, на которое повышается уровень чистоты в новой конструкции в отличие от сравниваемой;

H — надежность, заданная по ТУ сравниваемого изделия;

R_0 — значение класса чистоты, при котором надежность равна нулю;

R_{TY} — класс чистоты, соответствующий надежности, заданной по ТУ сравниваемого изделия;

K — коэффициент, отражающий количество значащих знаков надежности сравниваемого изделия (например, при $H=0,9$ $K=10$; при $H=0,99$ $K=100$ и т. д.).

Полагая, что $P_n = H + \Delta H$, а $P_c = H$, можно произвести расчеты по формуле (4) для сравнения показателей технологичности.

Величина R_0 в формуле (7) может быть определена

— по результатам исследований изделия на чувствительность к загрязнениям;

— на основании имеющегося опыта эксплуатации аналогичных изделий;

— на основании предельно допустимых норм загрязненности изделий и их рабочих жидкостей (газов), устанавливаемых соответствующими ГОСТами, ОСТАми, ТУ и другими документами.

Глава 5. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ БОРТОВЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОЖГУТОВ*

Жгуты разрабатывают на основе схем электрических соединений и компоновки агрегатов электрооборудования в соответствии с требованиями ОСТ 1.00239—77.

Чертежи жгутов выполняют с учетом требований ГОСТ 2.414—68 и ОСТ 1.00239—77. Рекомендуется до разработки чертежей жгутов составлять трассовые схемы электропроводки, определяющие объем основных трасс и число жгутов. Трассовые схемы — исходный материал для разработки чертежей жгутов.

В жгуты, как правило, включают провода электрических цепей одного напряжения и частоты. Экранированные и неэкранированные провода следует включать в разные жгуты. В технически обоснованных случаях допускается разрабатывать смешанные жгуты, при этом предусматривается обшивка (обмотка) экранированных проводов защитным материалом.

Диаметр жгутов не должен превышать 55 мм. В отдельных случаях, при небольших длинах жгутов и малом числе ответвлений, допускается проектировать жгуты диаметром до 70 мм.

По длине жгута необходимо предусматривать запас проводов, обеспечивающий трехкратную заделку с обоих концов при повторной пайке.

Для ответственных цепей электрической сети в жгуте должна быть предусмотрена закладка запасных проводов. Их количество, сечение и длина устанавливаются разработчиком.

Провода жгутов следует объединять в отдельные группы (трассы) в целях широкого применения средств механизации при их изготовлении (обмотка лентами, надевание трубок, обшивка тканью и т. д.).

Жгут проектируют таким образом, чтобы постоянно находящиеся под напряжением провода не располагались в одном электрическом соединителе с проводами особо ответственных цепей электрической сети или были удалены один от другого на максимальное расстояние в соединителе.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОТРАБОТКА ЖГУТОВ И ИХ МОНТАЖА НА ИЗДЕЛИИ

Конструктивно-технологическая отработка монтажей — важнейший вопрос подготовки серийного производства. Указанная отработка производится в процессе проектирования изделий и подготовки производства для уточнения чертежей, повышения технологичности и качества монтажа.

* Далее в тексте — жгуты.

Первым этапом этих работ является предварительная отработка монтажей бортового оборудования, то есть определение наиболее эффективного, с точки зрения обеспечения конструктивных и эксплуатационных факторов, размещения агрегатов и коммуникаций систем, наименьшей длины трасс и минимального количества электрических соединений.

Вторым этапом является отработка монтажей на объемных плазах, технологических агрегатах и на головном изделии.

Важным вопросом в конструктивно-технологической отработке монтажей жгутов на изделии является увязка взаимного расположения жгутов различных систем между собой и трубопроводами, тросами, тягами и т. д.

Отработка прокладки жгутов в серийном производстве осуществляется на изделиях первой серии. В процессе отработки в зонах устанавливают агрегаты (блоки) или их макеты.

При отработке прокладки и крепления подвижных участков жгутов необходимо обеспечить прокладку их без натяга и провисания при крайних положениях подвижных элементов.

При конструктивно-технологической отработке должны выполняться требования ОСТ 1.00239—77, ОСТ 1.03895—78.

Прокладку и крепление жгутов и проводов на изделии необходимо выполнять так, чтобы обеспечивался доступ ко всем элементам изделия для осмотра, регулировки и замены их без демонтажа жгутов. Жгуты не должны закрывать маркировку элементов монтажа. Прокладывать их следует выше трубопроводов гидравлической, масляной и топливной систем. Зазоры между жгутами и трубопроводами должны соответствовать указанным в табл. II.5.1.

Зазоры между жгутами, блоками, подвижными частями конструкции, а также тросами управления должны соответствовать указанным в табл. II.5.2.

Таблица II.5.1

Область применения	Минимальный зазор, мм
Кислородная система	10
Гидравлическая, топливная и масляная система	20
Система кондиционирования:	
трубопровод горячего воздуха	40
трубопровод холодного воздуха	5

Таблица II.5.2

Элементы и блоки конструкции	Минимальный зазор, мм
Амортизированный блок	10
Неамортизированный блок	8
Тросы управления	15
Подвижная часть конструкции изделия	10

Внутренние радиусы изгиба жгутов должны соответствовать данным табл. II.5.3.

Расстояние между элементами крепления жгутов на борту изделия должно быть не более 500 мм, независимо от диаметра жгута.

Провисание жгутов между соседними точками крепления (в средней точке) не должно превышать данных, указанных в табл. II.5.4.

Таблица II.5.3

мм

Диаметр жгута, d	Внутренний радиус изгиба жгута, не менее	
	экранированного	неэкранированного
До 10	$4,0d$	$3,0d$
Св. 10 до 20	$3,7d$	$2,8d$
Св. 20 до 30	$3,5d$	$2,5d$
Св. 30 до 40	$3,2d$	$2,2d$
Св. 40	$3,0d$	$2,0d$

Таблица II.5.4

мм

Диаметр жгута	Провисание жгута
До 10	3—5
Св. 10 до 20	4—7
Св. 20 до 30	5—8
Св. 30	6—10

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ МОНТАЖНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ

Монтажные чертежи разрабатывают в соответствии с ОСТ 1.00239—77, при этом учитываются следующие требования:

— расположение трасс и переходов жгутов с борта на борт должно обеспечивать минимальную длину жгутов;

— клеммные колодки должны располагаться в зонах, обеспечивающих кратчайшую длину проводов и хороший доступ к ним;

— компоновка оборудования и технологическое членение трасс должны обеспечивать возможность прокладки, крепления и демонтажа жгутов с электрическими соединителями;

— трассы прокладки следует выбирать так, чтобы большая часть жгута могла оставаться без дополнительной защиты и была бы обеспечена возможность крепления его к основным элементам конструкции изделия (лонжеронам, нервюрам, шанпоутам и т. п.) (рис. II.5.1);

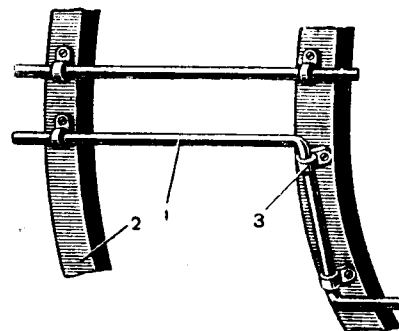


Рис. II.5.1. Прокладка и крепление жгутов к силовым элементам конструкции:

1 — жгут; 2 — элемент конструкции; 3 — хомут.

— прокладку жгутов следует предусматривать в специальных желобах, кожухах, каналах, трубах и т. п. для облегчения прокладки и крепления жгутов в труднодоступных местах и обеспечения надежной защиты от повреждений;

— электрические соединители по возможности должны располагаться горизонтально и выше подводящих к ним жгутов (II.5.2);

— все устанавливаемые вертикально электрические соединители должны иметь дополнительную защиту от попадания внутрь их влаги.

При разработке монтажных чертежей следует применять унифицированные крепежные элементы.

Прокладка и крепление должны быть выполнены таким образом, чтобы исключить касание жгутов об острые кромки элементов конструкции (рис. II.5.3). Хомуты крепления жгутов и проводов

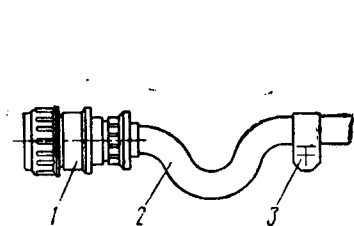


Рис. II.5.2. Установка электрических соединителей:

1 — электрический соединитель; 2 — жгут; 3 — хомут.

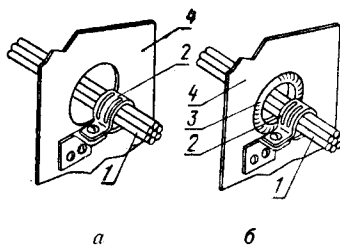


Рис. II.5.3. Прокладка жгутов через отверстия в элементах конструкции:

а — нетехнологично ($a \geq 10$ мм); б — технологично ($a \leq 10$ мм); 1 — жгут; 2 — хомут; 3 — защитный материал; 4 — элемент конструкции.

рекомендуется устанавливать, как показано на рис. II.5.4.

При прокладке жгутов с неподвижной части конструкции на подвижную необходимо предусматривать такое их крепление, чтобы они не изгибались, а скручивались; при этом соотношение L/l должно быть не менее 2 (рис. II.5.5).

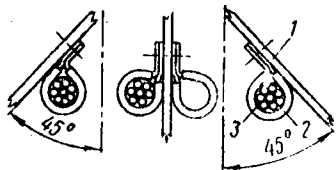


Рис. II.5.4. Установка хомутов: 1 — элемент конструкции; 2 — хомут; 3 — жгут.

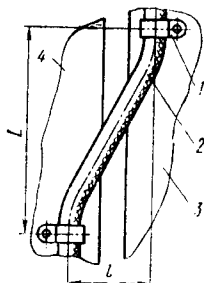


Рис. II.5.5. Прокладка жгутов с неподвижной части конструкции на подвижную: 1 — хомут; 2 — жгут; 3 — откидная панель; 4 — неподвижная часть конструкции.

МОНТАЖ ЭЛЕКТРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Технологичным является такой монтаж, при котором коммутационная и защитная аппаратура сгруппирована в специальные электrorаспределительные устройства (ЭРУ), собираемые на верстаке и устанавливаемые на изделие в готовом виде.

В конструкции ЭРУ рекомендуется предусматривать возможность выполнения полного монтажа устройств вне изделия, для чего на выходящих из ЭРУ проводах целесообразно предусматривать электрические соединители, располагая их на корпусе устройства или на проводах недалеко от него.

Если ЭРУ не может иметь электрического соединителя и подсоединение внешних проводов к устройству производится непосредственно на изделии, нетехнологично проектировать соединение с помощью пайки. В этом случае более технологично в конструкцию устройства вводить клеммную колодку (рис II.5.6).

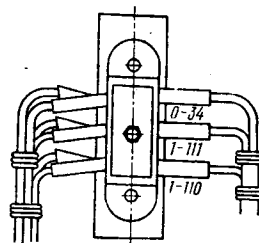


Рис. II.5.6. Клеммная колодка.

На всех агрегатах, монтируемых внутри ЭРУ, следует ставить удобочитаемые знаки и трафареты в соответствии с принципиальными схемами, которые наносят на агрегат или на корпус вблизи агрегата.

Для снижения трудоемкости выполнения работ по внутриблочному монтажу ЭРУ рекомендуется применять печатные схемы этих устройств.

Если контроль ЭРУ заключается не только в типовых операциях проверки и измерения сопротивления изоляции и переходных сопротивлений, но включает и другие виды проверок (измерение времени срабатывания, напряжения и др.), то в ТУ необходимо привести методику их выполнения.

Запасные лампы и предохранители следует размещать не внутри ЭРУ, а в отдельной коробке с соответствующим указанием.

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Металлизация электрооборудования изделия производится для электрического соединения металлических элементов оборудования, не имеющих постоянного контакта с корпусом изделия, если корпус используется в качестве общей токонесущей шины, в соответствии с ОСТ 1.00681—74 [5] путем установки перемычек металлизации или непосредственного контакта электроагрегата с корпусом изделия при его установке и креплении.

Если агрегат электрооборудования должен быть металлизирован перемычкой, в чертежах следует указать место установки, тип перемычки, величины переходных сопротивлений и место их замеров.

Если электроагрегаты, электrorаспределительные устройства и т. д. не имеют специальной перемычки металлизации на корпусе изделия и их металлизация осуществляется с помощью болтов крепления, в чертежах рекомендуется указать места зачистки под болты крепления от всех покрытий до металлического блеска, а также марку лака или краски для покрытия излишне зачищенных мест.

При установке на изделие блоков электрооборудования, внутри которых расположены устройства,

потребляющие энергию мощностью до 500 Вт и имеющие «минус», соединенный с корпусом блока, электрическое соединение блока с корпусом изделия осуществляется посредством болтов крепления. Если потребляемая мощность блоков электрооборудования превышает 500 Вт, соединение корпуса блока с корпусом изделия должно выполняться специальной перемычкой независимо от того, имеет или не имеет этот блок «минус», соединенный с корпусом изделия.

Перемычки, соединяющие электроагрегаты и механизмы с корпусом изделия, должны одним наконечником устанавливаться под один из болтов крепления агрегата или механизма, другим — на ближайший

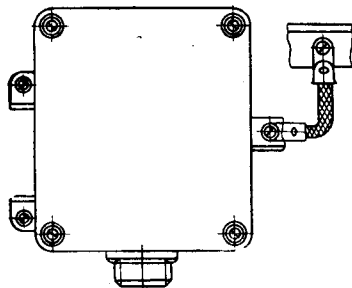


Рис. II.5.7. Установка перемычки металлизации на агрегат.

элемент каркаса изделия (шпангоут, стрингер, нервюру и т. д.) (рис. II.5.7). Для присоединения перемычек к корпусу изделия технологично применять крепление болтами с анкерными гайками или клеммными болтами (рис. II.5.8).

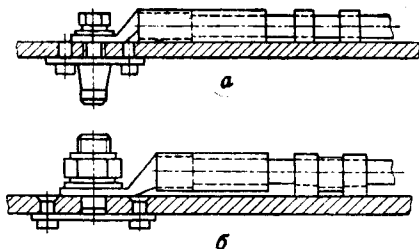


Рис. II.5.8. Крепление перемычек металлизации:

а — анкерными гайками; б — клеммными болтами.

Установку перемычек металлизации следует проектировать в местах, доступных для монтажа и проверки. Под один болт крепится не более двух перемычек металлизации.

Монтаж экранированных цепей на изделии производить в соответствии с ОСТ 1.00680—74 и ТУ на экранированную аппаратуру и агрегаты по изделиям.

Конструкции разъемных соединений экрана и узлы крепления экранов, проводов, жгутов и кабелей, обеспечивающих их металлизацию, должны быть максимально простыми и надежными.

Если для защиты от механических повреждений провода или электрожгуты прокладывают в металлических трубах, рукавах или плетенках, то последние необходимо металлизировать по концам независимо от их длины во избежание появления вторичных носителей помех.

Экраны проводов в смешанном жгуте необходимо соединять с корпусом электрического соединителя перемычками по ОСТ 1.03748—74.

Экранированные жгуты заделывают в электрические соединители с помощью футорок или специальных шайб в соответствии с ОСТ 1.03748—74.

Металлизацию в электрическом соединителе, имеющем до трех экранированных проводов, производят посредством пайки экранов на шайбу

(рис. II.5.9), в электрическом соединителе, имеющем более трех экранов проводов, металлизацию производят на корпус соединителя через наконечники (рис. II.5.10).

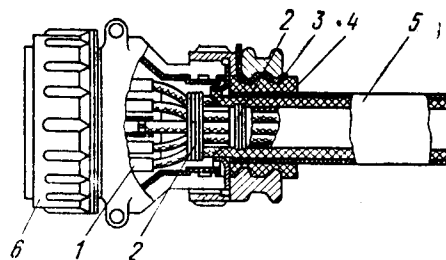


Рис. II.5.9. Заделка смешанного жгута в неэкранированный соединитель с выводом металлизации экранов на шайбу:

1 — трубка-бирка; 2 — бандаж; 3, 4 — прокладки; 5 — жгут; 6 — соединитель.

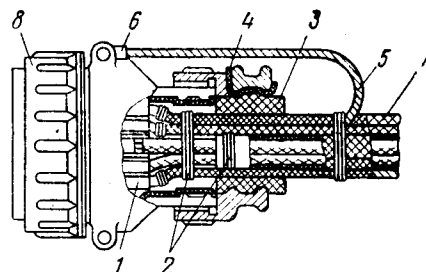


Рис. II.5.10. Заделка смешанного жгута в неэкранированный соединитель с выводом металлизации экранов на корпус соединителя:

1 — трубка-бирка; 2 — бандаж; 3, 4 — прокладки; 5 — плетенка металлизации; 6 — наконечник; 7 — жгут; 8 — соединитель.

Присоединение наконечников «минусовых» проводов к корпусу изделия необходимо выполнять в соответствии с ОСТ 1.00723—74.

В экранированных или смешанных жгутах все экраны проводов должны быть соединены с корпусом изделия. Допускается металлизация экрана провода с одной стороны, если длина экранированного провода не превышает 400 мм. Для жгутов, не имеющих экранирующей оплетки, специальной металлизации не предусматривается.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ОБЛЕГЧЕННЫХ ТЕРМОСТОЙКИХ ПРОВОДОВ МАРОК БПО, БИФ И БФС

Краткая техническая характеристика проводов приведена в табл. II.5.5.

Повышенная жесткость изоляции проводов марок БПО и БИФ требует строгого соблюдения радиусов изгиба жгутов при прокладке их на изделии и подсоединении к блокам аппаратуры. Это необхо-

Таблица II.5.5

Марка провода	БПДО		БПДОУ		БПДОЭ	БПДОУЭ		БИФ		БИФЭ		БФС		БФСЭ	
Техни- ческие условия	ТУ16-505.941—76						ТУ16-505.945—76				ТУ16-705.014—77				
Назна- чение	Фиксированный монтаж бортовой электросети														
Рабочее напря- жение, В	~500 750				~250 350						~250 350				
Рабочая темпера- тура, °С	От — 60 до + 105					От — 60 до + 200					От — 60 до + 250				
Мате- риал жилы	Медь, луженная оловом		Сплав БРХЦрК, лужен- ный оло- вом		Медь, лу- жен- ная оло- вом	Сплав БРХЦрК, лужеп- ный оло- вом		Медь, посеребренная, или прово- лока из сплава БРХЦрК, посереб- ренная				Медь никелированная			
Изоля- ция, оплетка	Термостабилизиро- ванный полиэтилен; фторопласт 2М об- луженный				Термостабили- зированный полиэтилен; фторопласт 2М облуженный; экран—медь, луженная оловом		Полиимиднофторо- пластовая		Полиимидно- фторопласто- вая; экран— медь посереб- ренная		Стеклофторопласт; оплетка из стекло- нитей, покрытых суспензией фторо- пласта		Стеклофторо- пласт; оплетка из стеклони- тей, покрытых суспензией фторопла- ста 4Д; экран— медь никели- рованная		
Сопро- тивле- ние изо- ляции, МОм·м	1000														
Сечение, мм²	диаметр, мм		электро- противле- ние жил, Ом/км, не более	диаметр про- вода, мм	электро- противле- ние жил, Ом/км, не более	диаметр, мм		электро- противле- ние, Ом/км	диаметр про- вода, мм	электро- противле- ние, Ом/км	диаметр, мм		электро- противле- ние, Ом/км	диаметр про- вода, мм	электро- противле- ние, Ом/км
	жилы	прово- да				жилы	прово- да				жилы	прово- да			
0,20*	0,60	1,34	108,4	1,82	108,4	0,60	1,28	100	1,76	100	0,60	1,75	117	2,23	117
0,35*	0,78	1,56	58; 63,3	2,04	58,0; 63,3	0,75	1,43	53,8; 76,5	1,01	63,8; 76,5	0,75	1,90	66,35; 75	2,38	66,35; 77
0,50*	0,9	1,76	41,3; 45,2	2,24	41,3; 45,2	0,90	1,58	42,4; 50,5	2,06	42,4; 50,5	0,90	2,05	45,5; 52,8	2,53	45,5; 52,8
0,75	1,11	1,97	26,8	2,45	26,8	1,15	1,83	26,0	2,31	26,0	1,15	2,30	27,56	2,78	27,56
1,00	1,3	2,24	20,5	2,84	20,5	1,30	1,98	20,3	2,46	20,3	1,30	2,60	21,90	3,08	21,90
1,5	1,6	2,54	13,3	3,14	13,3	1,60	2,28	13,2	2,76	13,2	1,60	2,90	14,35	3,38	14,35
2,5	2,10	3,28	8,0	3,88	8,0	2,10	2,78	7,65	3,26	7,65	2,10	3,40	8,29	4,0	8,29
4,0	2,88	4,10	5,0	4,70	5,0	—	—	—	—	—	2,88	4,40	5,56	5,0	5,56
6,0	3,98	5,20	3,3	5,80	3,3	—	—	—	—	—	3,51	5,10	3,70	5,7	3,70

* Жила из сплава БРХЦрК.

* Жила из сплава БРХЦрК.

димо учитывать при компоновке схем коммуникаций.

Вязку проводов в жгут рекомендуется производить стеклянным чулком АСЭч (6), пропитанным воском.

При заделке жгутов из проводов марок БПДО

и БИФ в электрические соединители недопустимо наложение бандажей внутри корпуса соединителя (рис. II.5.11).

После заделки провода в наконечник соединение должно быть изолировано термоусаживаемой трубкой (рис. II.5.12).

не более 150

25

1 2 3

Technical drawing of a mechanical part. The drawing includes a front view and a cross-section A-A.

Front View Dimensions:

- Top width: $\phi 4,2 \pm 0,1$
- Top fillet: $R0,8 \pm 0,05$
- Inner fillet: $R0,7 \pm 0,05$
- Bottom fillet: $R0,5 \pm 0,05$
- Bottom radius: $R0,5 \pm 0,05$
- Bottom width: $2,5 \pm 0,05$
- Bottom height: $0,38 \pm 0,05$
- Inner height: $0,75 \pm 0,05$
- Inner width: $1,25 \pm 0,05$
- Outer height: $1,2 \pm 0,1$
- Outer width: $0,4 \pm 0,05$
- Angle: $40 \pm 1^\circ$

Cross-section A-A:

- Top width: $\phi 4,2 \pm 0,1$
- Top fillet: $R0,8 \pm 0,05$
- Inner fillet: $R0,7 \pm 0,05$
- Bottom fillet: $R0,5 \pm 0,05$
- Bottom radius: $R0,5 \pm 0,05$
- Bottom width: $2,5 \pm 0,05$
- Bottom height: $0,38 \pm 0,05$
- Inner height: $0,75 \pm 0,05$
- Inner width: $1,25 \pm 0,05$
- Outer height: $1,2 \pm 0,1$
- Outer width: $0,4 \pm 0,05$
- Angle: $40 \pm 1^\circ$

89

Контроль величины схождения пуансонов в процессе эксплуатации обжимного инструмента должен выполняться с помощью контрольных калибров, размеры которых приведены в табл. II.5.9.

Таблица II.5.9

Диаметр контакта, мм	Сечение провода, мм ²	Размеры калибров, мм		№ калибра
		ПР + 0,01	He — 0,01	
1,0	0,20	0,84	0,94	1
	0,35	0,92	1,02	2
	0,50	1,02	1,12	3
	0,75	1,12	1,22	4
1,5	0,75	1,12	1,22	4
	1,00	1,32	1,42	5
	1,50	1,52	1,62	6
2,0	2,50	1,32	1,42	7
	4,00	1,62	1,72	8

Величины усилий на вырыв заделок проводов в контакты соединителей и величины переходных сопротивлений соединений «контакт — провод» должны соответствовать указанным в табл. II.5.10.

Таблица II.5.10

Диаметр контакта, мм	Сечение провода, мм ²	Переходное сопротивление, мкОм, не более	Нагрузка на вырыв, кгс, не менее
1,0	0,20	500	4,5
	0,35	300	6,2
	0,50	200	9,0
	0,75	150	14,0
1,5	0,75	150	14,0
	1,00	100	19,0
	1,50	80	29,0
2,0	2,50	70	40,0
	4,00	30	60,0

Перед монтажом проводов с контактами в соединители все используемые материалы, рабочее место, обжимной инструмент следует тщательно протереть салфетками, а предметы, касающиеся деталей соединителя и вставляемые в соединитель, необходимо протереть спиртом по ГОСТ 17299—71.

На время перерывов в монтаже соединители и инструмент необходимо накрывать белой салфеткой.

Не допускается применение при монтаже резиновых материалов, содержащих серу и другие элементы, вызывающие коррозию или образование неэлектропроводной пленки на поверхности золоченых контактов.

Заделку проводов в контакты диаметром 1,0; 1,5 мм следует выполнять с помощью обжимного инструмента ИРОК-2М (рис. II.5.18).

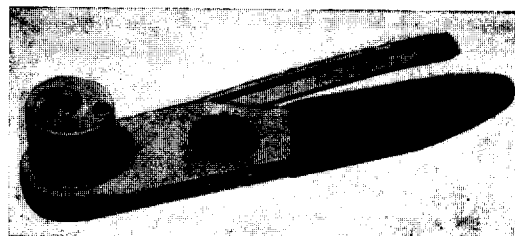


Рис. II.5.18. Обжимной инструмент ИРОК-2М.

Установку и извлечение контактов с проводами необходимо производить с помощью инструмента, общий вид которого приведен на рис. II.5.19 (инструмент поставляется в комплекте с электрическим соединителем).

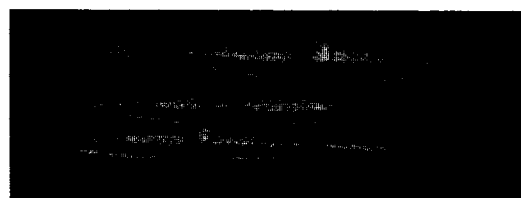


Рис. II.5.19. Инструмент для установки и извлечения контактов с проводами.

Извлечение незадействованных контактов (без проводов) необходимо производить с помощью инструмента, общий вид которого приведен на рис. II.5.20 (инструмент поставляется по особому заказу).

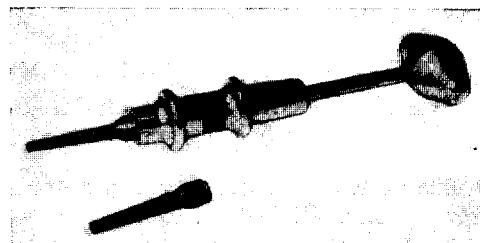


Рис. II.5.20. Инструмент для извлечения незадействованных (без проводов) контактов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Продолжение приложения

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
И МОНТАЖА ЖГУТОВ ИЗ ПРОВОДОВ
МАРОК БПДО, БИФ И БФС

Материал	ГОСТ, ТУ, Нормаль	Назначение
Сырая каландрированная лента из фторопласта 4Д	ОСТ 6.05405—75	В качестве электроизоляционного материала при температуре от -60 до $+250^{\circ}\text{C}$
Ткань кремнеземная КТ-11	МРТУ 6-11-58—67	Для защиты жгутов при температуре до 1000°C (кратковременно до $+1200^{\circ}\text{C}$)
Трубка термоусаживаемая ТТФ-1	ТУ 596-5—74	Для защиты жгутов при температуре от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$
Резина ИРП-1338	ТУ 38-005-1166—73	Для защиты жгутов при температуре от -50 до $+250^{\circ}\text{C}$
Резина 51-1434	ТУ 51-38-5-188—68	Для защиты жгутов в среде воздуха с парами топлив и масел при температуре от -55 до $+200^{\circ}\text{C}$ (кратковременно до $+250^{\circ}\text{C}$)

Материал	ГОСТ, ТУ, Нормаль	Назначение
Лак КО-815	ГОСТ 11066—74	Для закрепления изоляции на концах проводов марки БСА
Лак КО-85	ГОСТ 11066—74	Для покрытия бандажей из стеклянных ниток
Чулок стеклянный АСЭЧ (6) (пропитанный воском)	ТУ РСФСР 5873—72	Для вязки жгутов
Трубка термоусаживаемая РМ ТУТ-1	ТУ 6-05-051-144—76	Для защиты жгутов при температуре от -60 до $+105^{\circ}\text{C}$
Трубка термоусаживаемая РМ ТУТ-2	ТУ 6-05-051-144—76	Для защиты жгутов при температуре от -60 до $+135^{\circ}\text{C}$
Лента термостойкая самослипающаяся ЛЭТСАР	ТУ 38 103171—73	Для защиты жгутов при температуре от -50 до $+250^{\circ}\text{C}$
Резиностеклоткань РЭТСАР	ТУ 38 103172—73	Для защиты жгутов при температуре от -50 до $+250^{\circ}\text{C}$

Глава 6. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ

ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

На этапе эскизного проектирования разрабатываются кинематическая схема и сборочные чертежи на монтаж системы управления в корпусе. В зависимости от протяженности системы управления сборочный чертеж на ее монтаж должен разрабатываться для всего изделия и по его агрегатам или отсекам.

При разработке сборочных чертежей на монтаж систем управления необходимо стремиться к размещению систем в агрегатах (отсеках) изделия, позволяющему выполнить монтаж, а также большую часть контроля и испытания в этих агрегатах. В сборочном чертеже на монтаж системы управления в корпусе необходимо указывать основные сборочные узлы (центральный узел управления, агрегаты управления, качалки с кронштейнами и т. д.). Спецификацию целесообразно выполнять на поле сборочного чертежа. К чертежу должна быть приложена разработанная по ГОСТ 2.108—68 форма, содержащая наименование и количество сборочных единиц и стандартных изделий, номера позиций сборочных единиц, их массу и зону расположения на сборочном чертеже.

Каждая трасса системы управления выбирается так, чтобы была обеспечена возможность крепления ее элементов (кронштейнов с качалками или роли-

ками, роликовых направляющих, гребенок, колодок, гермовыводов) к основным элементам конструкции (лонжеронам, нервюрам, шпангоутам и т. д.). В местах разъемов отсеков изделия предусматриваются разъемы в системе управления. В труднодоступных местах тяги и тросы следует прокладывать в специальных желобах, кожухах, коробках и т. п.

При проектировании жестких систем управления в каждой магистрали предусматривается компенсирующее звено в виде регулируемой тяги (рис. II.6.1). Не рекомендуется размещать рулевые

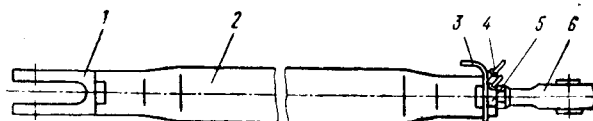


Рис. II.6.1. Тяга с регулируемым наконечником:

1 — наконечник вильчатый нерегулируемый; 2 — труба;
3 — шайба; 4 — проволока; 5 — гайка; 6 — наконечник ушковый регулируемый.

машинки вдали от исполнительных органов, так как в кинематическую схему в этом случае включаются дополнительные передаточные элементы в виде ро-

ликов и валов, что вызывает увеличение суммарного люфта и дополнительной трудоемкости по монтажу (рис. II.6.2).

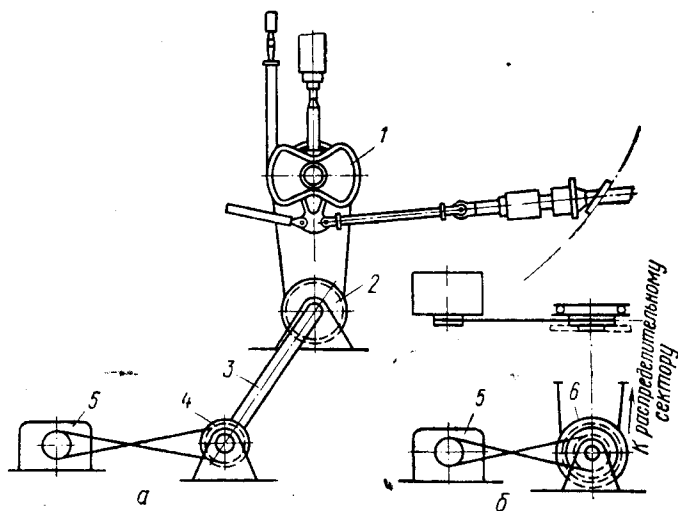


Рис. II.6.2. Схема передачи движения от управляющего агрегата к распределительному сектору:

а — с промежуточными элементами системы — нетехнологичная; б — без промежуточных элементов системы — технологичная; 1 — распределительный сектор; 2, 4 — одноручейковые ролики; 3 — вал; 5 — управляющий агрегат системы; 6 — двойные ролики (двухручейковые).

РАБОЧЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

На этапе рабочего проектирования производится уточнение сборочных чертежей на монтаж систем управления в корпусе, разработка сборочных чертежей на сборочные единицы и чертежей на детали, составление производственных инструкций (ПИ) и технических условий (ТУ).

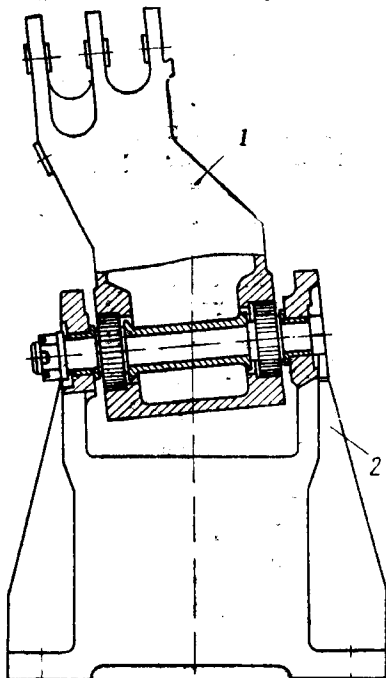


Рис. II.6.3. Качалка в сборе с кронштейном:

1 — качалка; 2 — кронштейн.

В чертежах на сборочные единицы (центральный узел управления, агрегаты управления, качалки с кронштейнами и т. д.) указываются номера узлов и элементов системы (педаля в сборе, качалка, тяга и т. д.), сечения, виды. К чертежу должна быть

приложена форма по ГОСТ 2.108—68, в которой указаны наименование и количество узлов, элементов системы и стандартных изделий, их масса и зона расположения на сборочном чертеже.

В сборочном чертеже на монтаж должны быть указаны позиции устанавливаемых сборочных единиц, отдельных деталей, тяг и тросов, типовые соединения тяг, тросов и других элементов системы; типовая или специальная установка металлизации в соединениях тяг и качалок. Кроме того, должны быть приведены технические условия на сборку узлов и элементов системы, их монтаж и регулировку (например, установка регулировочных шайб под кронштейны, сборка узлов на специальном стенде или в приспособлении, увязанном со сборочным стапелем и т. п.), производственные инструкции (ПИ) и стандартные типовые технологические операции на монтаж системы (ОСТ).

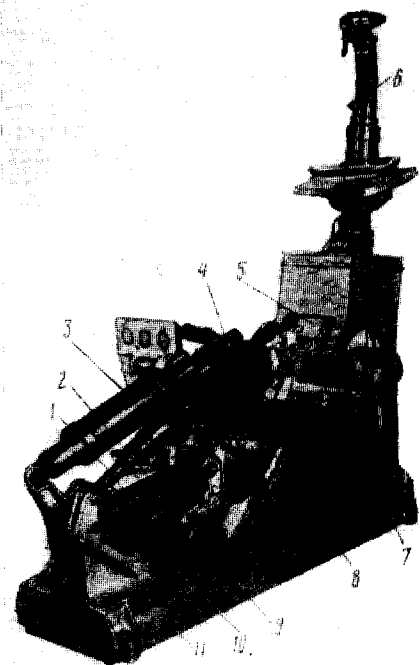


Рис. II.6.4. Центральный узел управления:

1 — загрузочный механизм по крену; 2 — механизм триммерного эффекта тангажа; 3 — загрузочный механизм по тангажу; 4 — механизм изменения загрузки ручки управления по тангажу (исполнительный механизм системы АРУ-9); 5 — механизм триммерного эффекта крена; 6 — ручка управления; 7 — педаль управления РП; 8 — механизм триммерного эффекта курса; 9 — объединенный электро-разъем; 10 — загрузочный механизм курса; 11 — кронштейн центрального узла.

Для расширения фронта работ на окончательной сборке элементы системы управления объединяют в сборочные узлы, собираемые на предварительной сборке. Готовые изделия, узлы и детали технологичнее объединять в сборочные узлы на съемных панелях, кронштейнах, например, качалки с кронштейнами (рис. II.6.3), центральный узел управления (рис. II.6.4) и т. д. Разрозненные ка-

чалки, переходные детали, кронштейны, ролики и т. д., расположенные в одном месте, следует проектировать в один сборочный узел (рис. II.6.5). Тяги,

ПИ и ТУ должны содержать характеристику системы и требования к ней, требования к установке узлов (сборочные единицы) и деталей системы, проверку и регулировку системы по отсекам изделия, проверку и регулировку на состыкованном изделии.

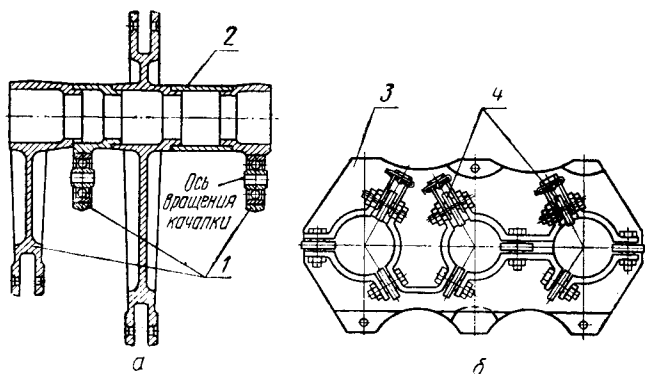


Рис. II.6.5. Различные виды сборочных узлов:

а — узел качалок; б — узел с направляющими роликами; 1 — качалки; 2 — переходная деталь; 3 — кронштейн; 4 — ролики.

проходящие через гермостенку, технологичнее компоновать в групповые гермовыводы (рис. II.6.6). Для различных каналов управления технологичнее

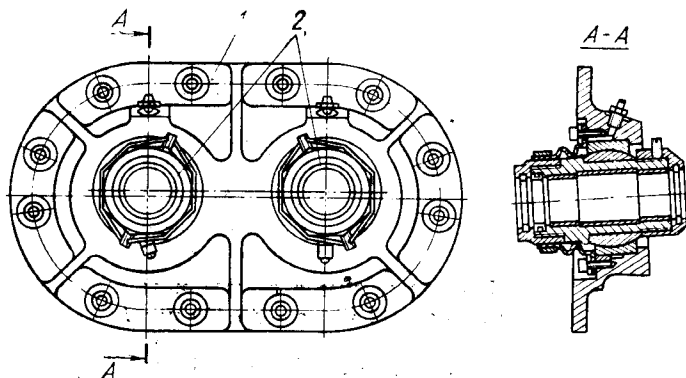
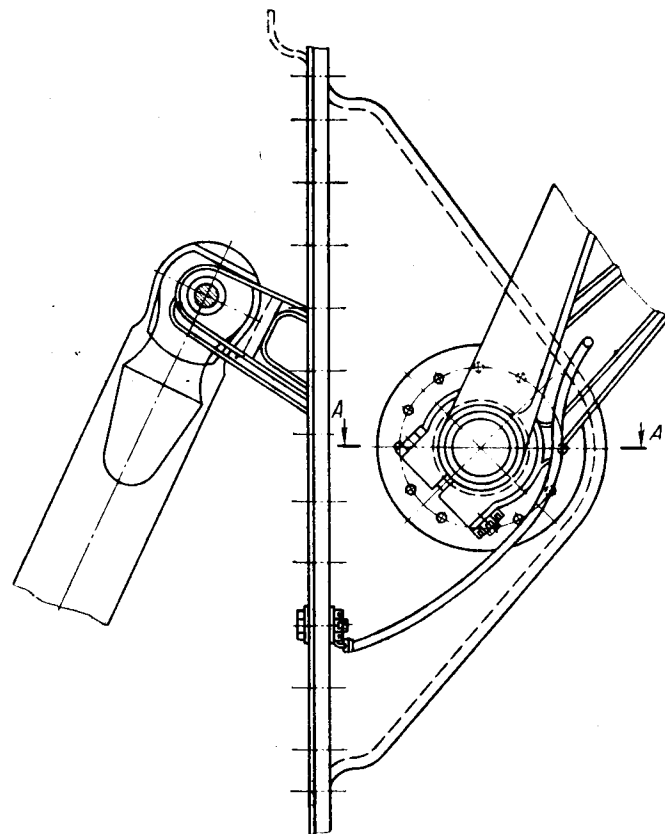


Рис. II.6.6. Групповой гермовывод для тяг:

1 — корпус гермовывода; 2 — гермовыводы для тяг.

проектировать гермовывод, совмещенный в один узел (рис. II.6.7).

Наиболее технологичной конструкцией качалки является конструкция без промежуточного кронштейна (рис. II.6.8).

Подготовка к монтажу тяг, тросов, готовых изделий производится по ОСТ 1.41731—78÷ОСТ 1.41735—78, заделка троса в рулевую машинку и на сектора — по ОСТ 1.41780—78÷ОСТ 1.41786—78.

Монтаж готовых изделий, узлов следует выполнять по ОСТ 1.41736—78÷ОСТ 1.41753—78, ОСТ 1.41758—78÷ОСТ 1.41762—78, гермовыводов — по ОСТ 1.41754—78÷ОСТ 1.41757—78.

Прокладку тяг по роликовым направляющим рекомендуется производить по ОСТ 1.41763—78, троса по роликовым направляющим, рулевым машинкам, секторам — по ОСТ 1.41764—78÷ОСТ 1.41769—78.

Соединение тяги с тягой, тяги с качалкой и готовым изделием производить по ОСТ 1.41770—78÷ОСТ 1.41776—78 и ОСТ 1.41778—78, соединение тросов тандером — по ОСТ 1.41777—78, болтом — по ОСТ 1.41779—79.

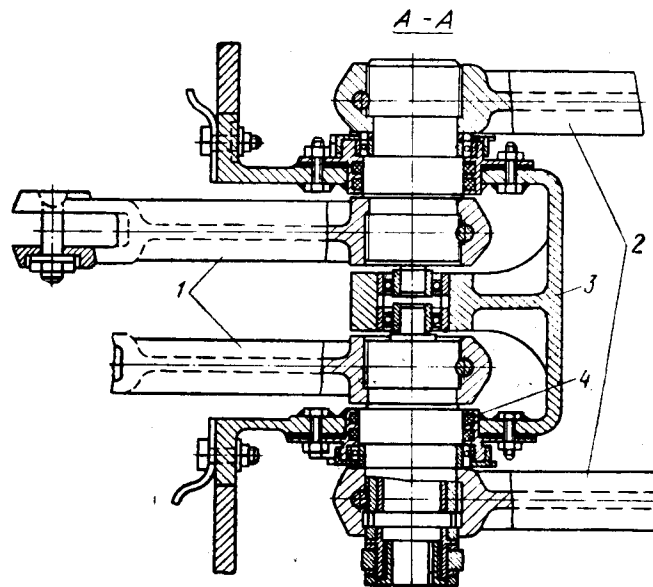


Рис. II.6.7. Гермовывод каналов управления РП и РВ:

1 — качалки РП и РВ в герметичной зоне; 2 — качалки РП и РВ вне герметичной зоны; 3 — корпус гермовывода; 4 — уплотняющие прокладки.

Трубы, нерегулируемые и регулируемые наконечники, шайбы и втулки тяг управления следует применять в соответствии с ОСТ 1.12791—77÷ОСТ 1.12805—77, ОСТ 1.00856—77÷ОСТ 1.00857—77.

Рекомендуемые конструкции труб, наконечников, шайб и втулок приведены в табл. II.6.1.

Для кинематических звеньев систем управления рекомендуются ушковые наконечники с шарикоподшипниками, заделанными на клею по ОСТ 1.12329—76 ÷ ОСТ 1.12334—76 (табл. II.6.2).

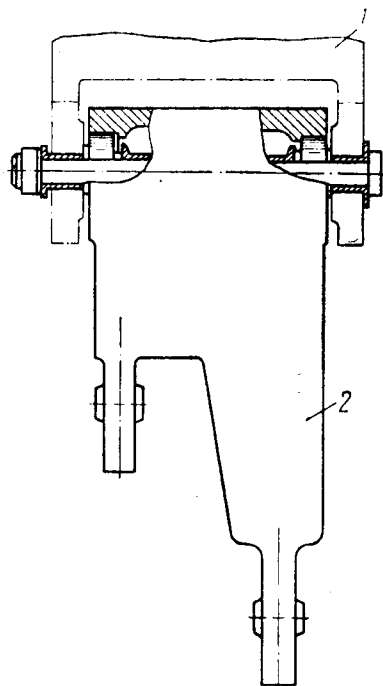


Рис. II.6.8. Установка качалки в гнездо планерной части изделия:

1 — планерная часть изделия; 2 — качалка.

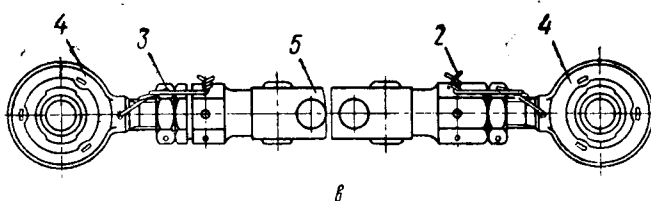
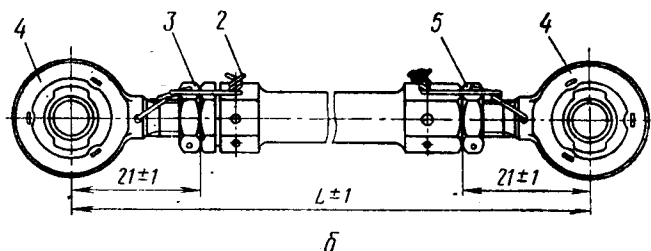
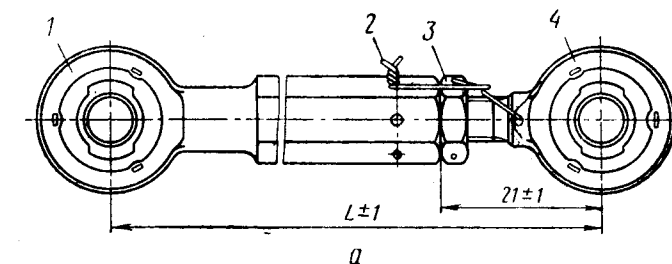


Рис. II.6.9. Подсоединяемые к агрегатам тяги длиной:

а — до 75 мм; б — до 212 мм; в — до 400 мм; 1 — наконечник ушковый; 2 — контрольная проволока; 3 — гайка; 4 — наконечник ушковый регулируемый; 5 — муфта.

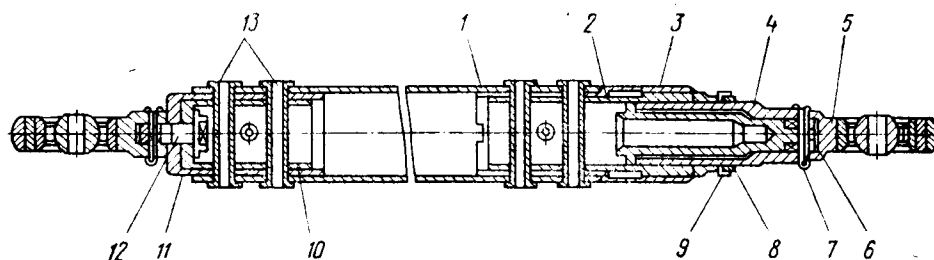


Рис. II.6.10. Тяга с дублированными наконечниками:

1 — труба; 2, 10 — внутренние стаканы; 3, 11 — внешние стаканы; 4 — ушковый болт; 5 — вкладыш с шарикоподшипником; 6, 12 — стяжные болты; 7 — шплинт; 8 — контргайка; 9 — отгибная шайба; 13 — трубчатые заклепки.

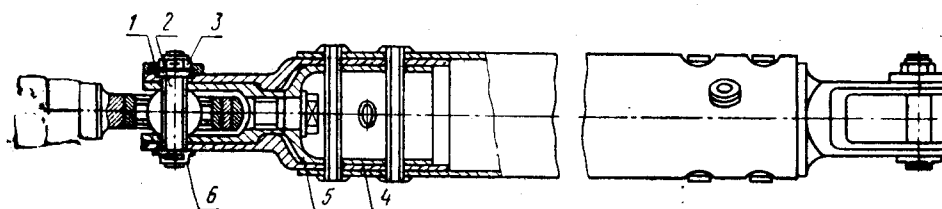
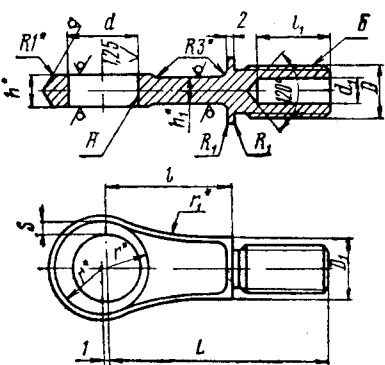
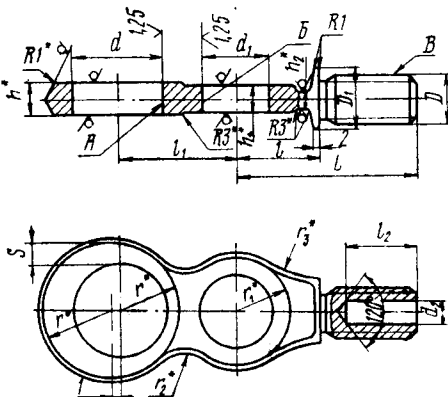
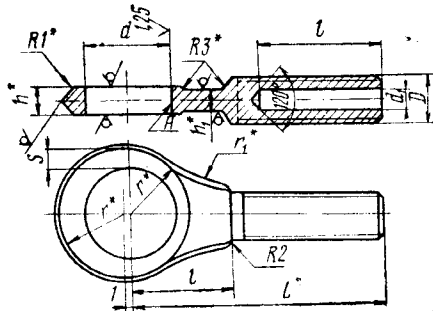
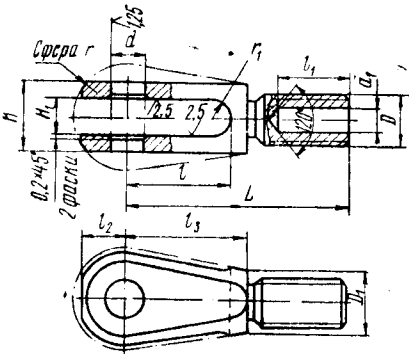


Рис. II.6.11. Дублированное шарнирное соединение тяг:

1 — пружинное кольцо; 2 — болт; 3 — гайка со шплинтом; 4, 5 — стаканы; 6 — втулка.

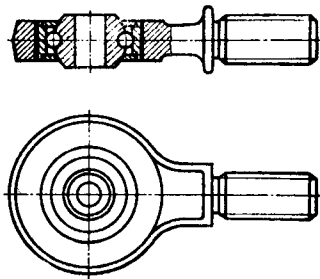
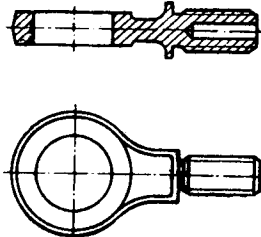
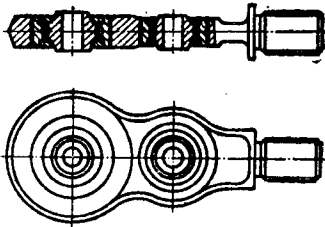
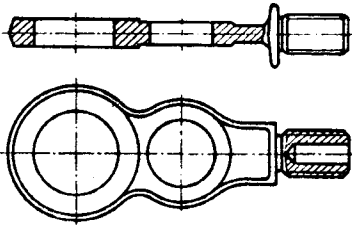
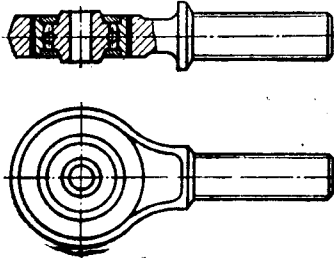
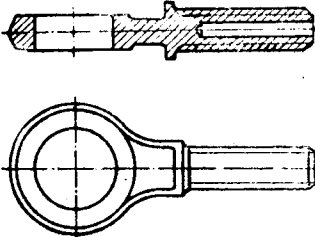
Таблица II.6.1

Наименование	Эскиз	ОСТ	Область применения
Трубы тяг управления		ОСТ 1.12791—77	В тягах управления самолетами и вертолетами
Наконечники ушковые нерегулируемые с шарикоподшипником		ОСТ 1.12792—77	То же
Наконечники ушковые двойные нерегулируемые с шарикоподшипником		ОСТ 1.12793—77	»
Наконечники ушковые регулируемые с шарикоподшипником		ОСТ 1.12794—77	»
Наконечники вильчатые нерегулируемые со втулками		ОСТ 1.12795—77	»

Наименование	Эскиз	ОСТ	Область применения
Наконечники ушковые		ОСТ 1.12796—77 ОСТ 1.12797—77	В ушковых нерегулируемых наконечниках с шарикоподшипником
Наконечники ушковые двойные		ОСТ 1.12798—77 ОСТ 1.12799—77	В ушковых двояных нерегулируемых наконечниках с шарикоподшипником
Наконечники ушковые		ОСТ 1.12800—77	В ушковых регулируемых наконечниках с шарикоподшипником
Наконечники вильчатые		ОСТ 1.12801—77	В вильчатых нерегулируемых наконечниках со втулками

Наименование	Эскиз	ОСТ	Область применения
Наконечники вильчатые нерегулируемые		ОСТ 1.12802—77	В тягах управления самолетов и вертолетов
Наконечники вильчатые регулируемые		ОСТ 1.12803—77	То же
Шайбы		ОСТ 1.12804—77	»
Втулки		ОСТ 1.12805—77	В вильчатых нерегулируемых наконечниках

Таблица II.6.2

Наименование	Эскиз	Нормаль, ОСТ	Область применения
Наконечники ушковые нерегулируемые в сборе		ОСТ 1.12329—76	Для тяг управления самолетов с шарикоподшипниками, заделанными на клею, работающих при температуре от —60 до +125 °С
Наконечники ушковые нерегулируемые		ОСТ 1.12330—76	
Наконечники ушковые сдвоенные в сборе		ОСТ 1.12331—76	Для тяг управления самолетов с шарикоподшипниками, заделанными на клею, работающих при температуре от —60 до +125 °С
Наконечники ушковые сдвоенные		ОСТ 1.12332—76	
Наконечники ушковые регулируемые в сборе		ОСТ 1.12333—76	Для тяг управления самолетов с шарикоподшипниками, заделанными на клею, работающих при температуре от —60 до +125 °С
Наконечники ушковые регулируемые		ОСТ 1.12334—76	

Контровка регулируемых наконечников тяг может производиться различными способами (рис. II.6.12). В особо ответственных тягах механических систем следует применять стопорные шпильки, которые

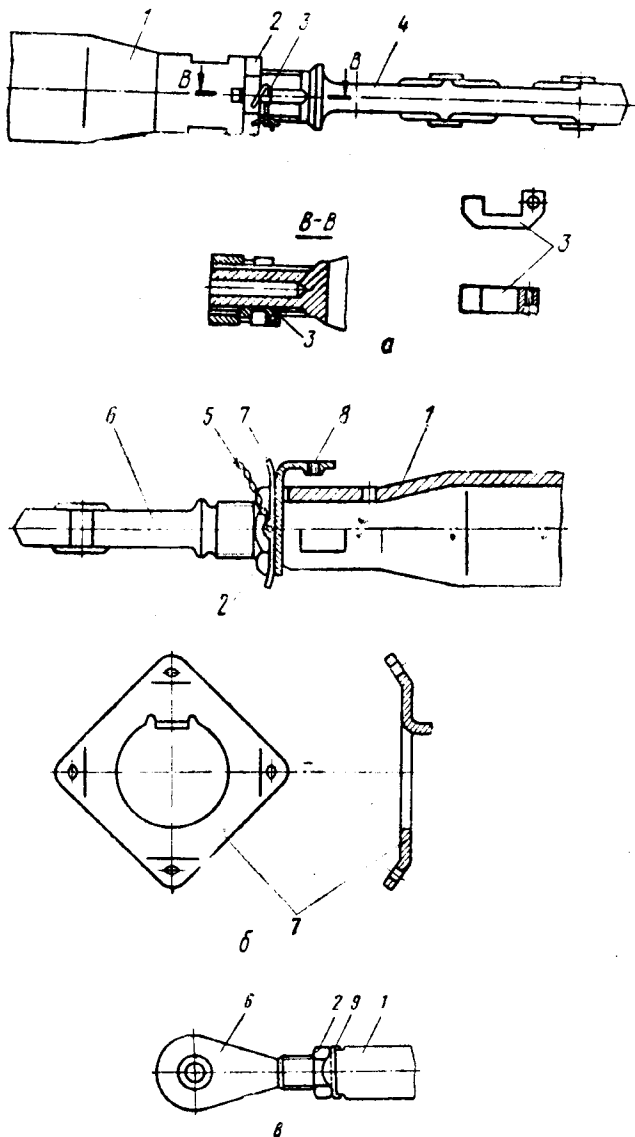


Рис. II.6.12. Контровка регулируемых наконечников тяг: а — контровочной шпонкой и гайкой; б — двумя шайбами и гайкой; в — шайбой и гайкой, 1 — труба; 2 — гайка; 3 — шпонка контровочная; 4 — наконечник ушковый сдвоенный; 5 — контровочная проволока; 6 — наконечник ушковый; 7, 9 — шайба контровочная; 8 — шайба по ОСТ 1.12804—77.

одновременно служат ограничителями при регулировке и препятствуют вывертыванию вилки или ушка при расконтривании. На рис. II.6.13 показана установка стопорной шпильки.

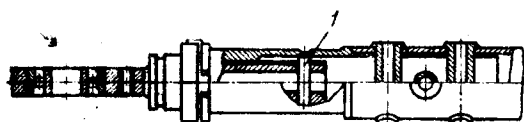


Рис. II.6.13. Тяга с ограничительной стопорной шпилькой 1.

При проектировании необходимо предусматривать соединения тяги с тягой и тяги с качалкой, позволяющие осуществлять быстрый и легкий разъем (рис. II.6.14). Для соединения тяг с качалками не рекомендуется конструкцию последних

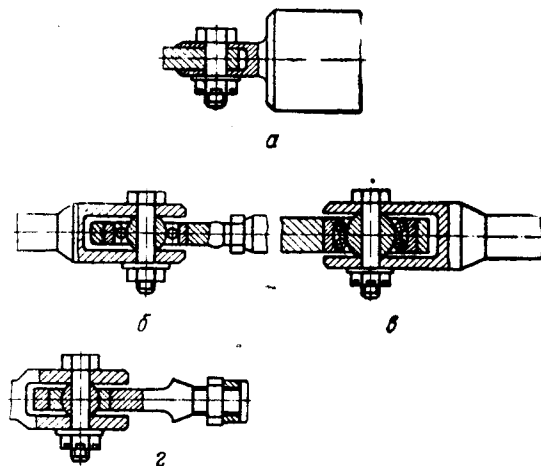


Рис. II.6.14. Виды соединений тяг:

а — бесподшипниковые; б, в — подшипниковые с удлиненными внутренними кольцами; г — шарнирные с подшипниками.

проектировать фигурной (рис. II.6.15, а), технологичнее применять тяги со сдвоенными вильчатыми или ушковыми наконечниками (рис. II.6.15, б). Для

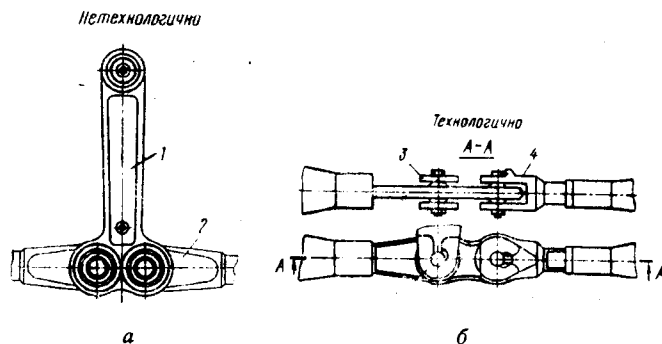


Рис. II.6.15. Тяги со сдвоенными наконечниками:

1 — качалка; 2 — тяга; 3 — наконечник ушковый сдвоенный; 4 — наконечник вильчатый.

передачи движения от одного звена кинематической схемы управления к другому применяют типовые качалки (рис. II.6.16).

В целях исключения сверлильных работ при монтаже отверстия под болты металлизации следует предусматривать в чертежах качалок и кронштейнов.

Специальные регулируемые упоры на качалках или на узлах стопорения (рис. II.6.17) облегчают регулировку отклонения рулей, ограничивают ход качалки и исключают подпилку тела кронштейна. Канаты (тросы) следует применять в соответствии с ГОСТ 2172—71, подвергая их предварительной вытяжке по ГОСТ 3120—75. Направляющие глазки для канатов рекомендуется применять по ОСТ 1.11424—74 ÷ ОСТ 1.11426—74 в соответствии с требованиями ОСТ 1.00685—74 (рис. II.6.18). Детали заделки отверстий для канатов применяют по ОСТ 1.11279—73 ÷ ОСТ 1.11280—73 (рис. II.6.19).

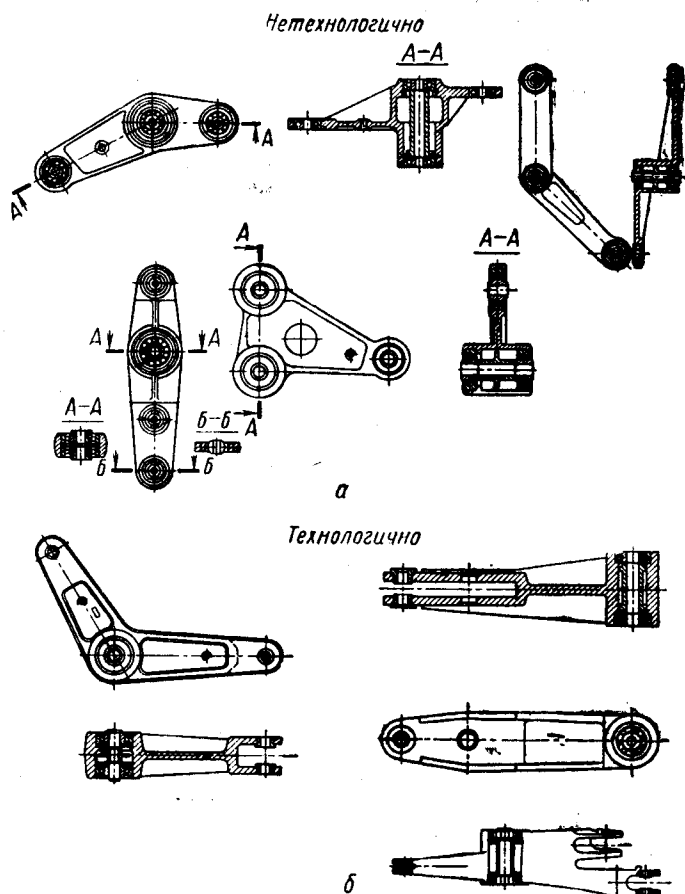


Рис. 11.6.16. Типовые виды качалок:
а — с запрессованными в ушко подшипниками; б — с вилками без подшипников.

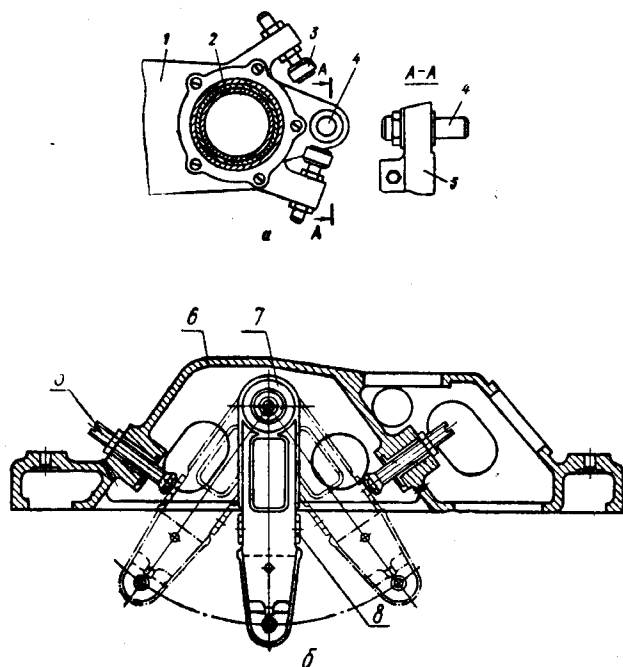


Рис. 11.6.17. Узлы ограничения отклонения руля высоты (а) и качалки (б):

1 — кронштейн навески руля высоты; 2 — карданный вал руля высоты; 3 — упоры ограничителя; 4 — ограничитель отклонения руля высоты; 5 — дюралевый кронштейн; 6 — кронштейн; 7 — качалка; 8 — ограничитель отклонения качалки.

Для тросовой проводки технологичнее применять ориентирующие герметические выводы каналов, выполненные по ОСТ 1.10295—71 ÷ ОСТ 1.10302—71 в соответствии с требованиями ОСТ 1.00530—71

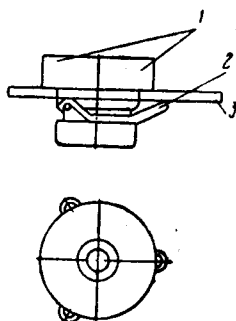


Рис. 11.6.18. Направляющие глазки для кабелей:

1 — полукорпусы; 2 — кольцо нажимное; 3 — перегородка.

(рис. 11.6.20). Для тросовой проводки применяют ушковые, вильчатые, резьбовые шариковые, трубчатые наконечники, изготовленные по ОСТ 1.12133—75 ÷ ОСТ 1.12139—75 в соответствии с тре-



Рис. 11.6.19. Детали заделки отверстий для кабелей:

1 — втулка; 2 — гайка; 3 — перегородка.

бованиями ОСТ 1.00767—75, и гильзы, изготовленные по ОСТ 1.12336—75 в соответствии с требованиями ОСТ 1.00791—75. Рекомендуемые конструкции наконечников приведены в табл. 11.6.3.

Заделку кабелей (тросов) в ушковые, вильчатые, резьбовые, шариковые и трубчатые наконечники

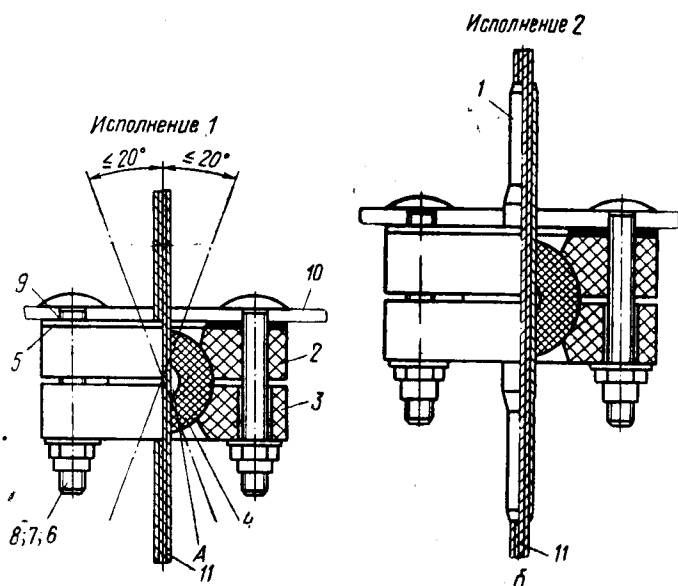


Рис. 11.6.20. Выводы каналов герметические ориентирующие:
а — без муфт; б — с обжатой муфтой; 1 — муфта в сборе с кабелем; 2 — корпус; 3 — крышка; 4 — сердечник; 5 — прокладка; 6 — винт; 7 — шайба; 8 — гайка; 9 — замазка тиколовая уплотнительная; 10 — стенка; 11 — канат (трос).

Таблица П.6.3

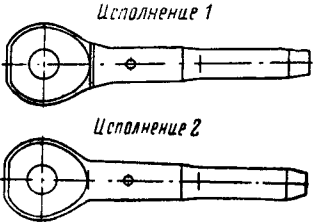
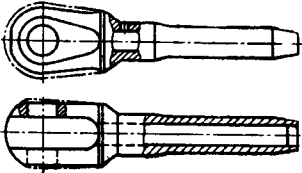
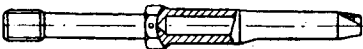
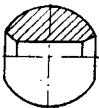
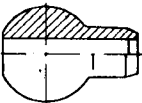
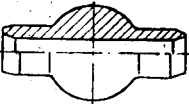
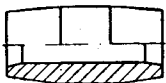
Наименование	Эскиз	ОСТ	Область применения
Наконечники ушковые		ОСТ 1.12133—75	Для обжатия на канатах из углеродистой и нержавеющей сталей
Наконечники вильчатые		ОСТ 1.12134—75	
Наконечники резьбовые		ОСТ 1.12135—75	Для обжатия на канатах из углеродистой и нержавеющей сталей
Наконечники шариковые		ОСТ 1.12136—75	
Наконечники шариковые с одним хвостовиком		ОСТ 1.12137—75	
Наконечники шариковые с двумя хвостовиками		ОСТ 1.12138—75	
Наконечники трубчатые		ОСТ 1.12139—75	Для обжатия на канатах из углеродистой и нержавеющей сталей

Таблица II.6.4

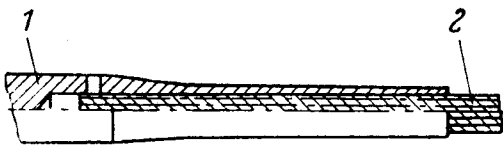
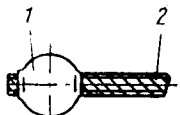
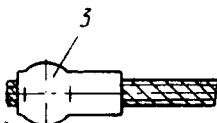
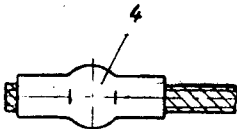
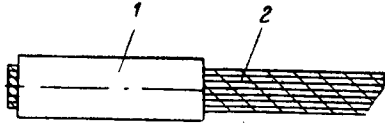



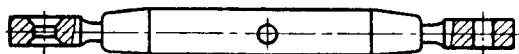

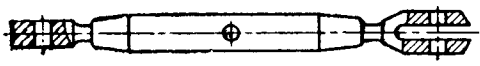
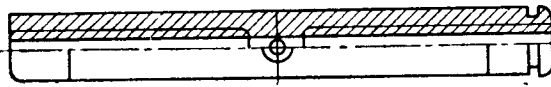
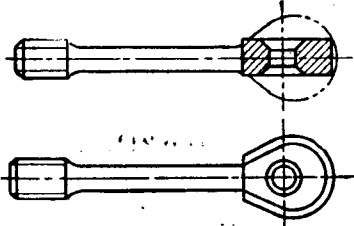
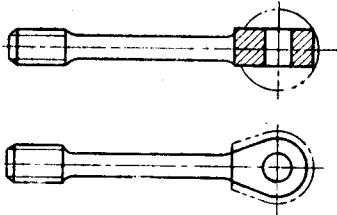
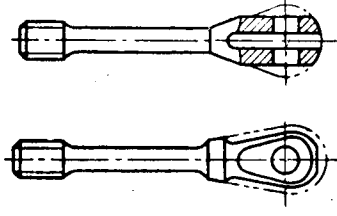
Наименование способа	Эскиз	ОСТ
Заделка канатов из углеродистой и нержавеющей сталей обжатием в ушковых, вильчатых и резьбовых наконечниках	 <p>1 — наконечник; 2 — трос</p>	ОСТ 1.03796—75
Заделка канатов из углеродистой и нержавеющей сталей обжатием в шариковых наконечниках	<p>Исполнение 1</p>  <p>1 — наконечник шариковый; 2 — канат</p>	ОСТ 1.03797—75
	<p>Исполнение 2</p>  <p>3 — наконечник шариковый с одним хвостиком</p>	
	<p>Исполнение 3</p>  <p>4 — наконечник шариковый с двумя хвостиками</p>	
Заделка канатов из углеродистой и нержавеющей сталей обжатием в трубчатых наконечниках	 <p>1 — наконечник трубчатый; 2 — канат</p>	ОСТ 1.03798—75

Таблица II.6.5

Наименование	Эскиз	ОСТ	Область применения
Тандеры с ушками под коуши		ОСТ 1.11348—73	Для регулировки натяжения стальных канатов проводки управления
Тандеры с ушками под валики		ОСТ 1.11349—73	
Тандеры с вилками		ОСТ 1.11350—73	
Тандеры с ушками под коуш и валиком		ОСТ 1.11351—73	Для регулировки натяжения стальных канатов проводки управления
Тандеры с ушком под коуш и вилкой		ОСТ 1.11352—73	
Тандеры с ушком под валик и вилкой		ОСТ 1.11353—73	
Муфты		ОСТ 1.11354—73	Для применения в тандерах
Ушки под коуши		ОСТ 1.11355—73	

Наименование	Эскиз	ОСТ	Область применения
Ушки под валики		ОСТ 1.11356—73	Для применения в тандерах
Вилки		ОСТ 1.11357—73	

рекомендуется проектировать по ОСТ 1.03796—75 ÷ ОСТ 1.03798—75 в соответствии с требованиями ОСТ 1.00768—75. Рекомендуемые способы заделки канатов в наконечники приведены в табл. II.6.4. В зависимости от конструкций наконечников рекомендуется применять тандеры (табл. II.6.5), изготовленные по ОСТ 1.11348—73 ÷ ОСТ 1.11357—73 в соответствии с требованиями ОСТ 1.00666—73.

Следующие элементы систем рекомендуется применять по отраслевым стандартам:

— ролики текстолитовые по ОСТ 1.11088—73 ÷ ОСТ 1.11090—73; ОСТ 1.00628—73 ÷ ОСТ 1.00630—73;

— ролики металлические по ОСТ 1.11543—74 ÷ ОСТ 1.11544—73; ОСТ 1.00700—74;

— валики по ОСТ 1.11189—73 ÷ ОСТ 1.11191—73; ОСТ 1.00643—73.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОТРАБОТКА МОНТАЖА И РЕГУЛИРОВКА СИСТЕМЫ НА ИЗДЕЛИИ

Конструктивно-технологическую обработку монтажа рекомендуется производить в процессе проектирования и подготовки производства на опытном изделии и машине головной серии. Отработку системы управления на изделии выполняют в соответствии с требованиями чертежей, ТУ, ПИ.

Последовательность конструктивно-технологической отработки следующая:

— прокладка технологических тяг и троса;
— установка готовых изделий, кронштейнов, узлов и т. д. на специально предусмотренные места согласно чертежу по технологическим тягам и тросам;

— отработка окончательного положения готовых изделий, кронштейнов, узлов и т. д. на изделии;

— прокладка тяг и тросов при установленных агрегатах или их макетах.

Сборку и регулировку системы управления проводят при установке элементов системы в нейтральное положение, для чего все качалки, имеющие специальные отверстия, фиксируют штырями, установив ручку управления и педали в нейтральное положение. Качалки узлов, не имеющих фиксированных отверстий, устанавливают в нейтральное положение, заданное размерами в сборочных чертежах.

Кронштейны должны устанавливаться без перекосов, при необходимости допускается прокладка шайб, согласно указаниям в сборочных чертежах.

При отработке системы уточняются сборочные чертежи на монтаж системы, установку узлов, длины тяг и тросов и расположение тандеров. Утверждаются эталоны тяг и тросов. За эталонные принимают тяги и тросы, изготовленные в соответствии с действующей технической документацией с учетом замечаний и рекомендаций комиссии по эталонированию.

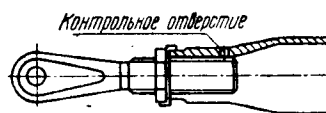


Рис. II.6.21. Регулируемый наконечник тяги с контрольным отверстием.

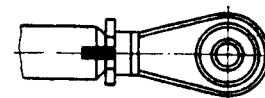


Рис. II.6.22. Контролька положения контрольной гайки.

При регулировке системы управления длина тяг изменяется в пределах контрольного отверстия при ввертывании или вывертывании наконечников с обеспечением запаса резьбы не менее 1 нитки (рис. II.6.21). Контрольные отверстия (для проверки захода резьбовой части регулируемых хвостовиков) на тягах управления должны быть обращены в сторону, удобную для контроля проволоочным щупом. Контрольку регулируемых наконечников тяг производят после окончательной регулировки

системы управления. Контровка наконечников тяг контровочными гайками и проволокой или гайками и шайбами должна быть надежной, проворот наконечников после контровки недопустим.

После окончательной регулировки системы управления для контроля положения контровочной гайки относительно трубы или стакана тяги на регулируемых концах тяг, в местах, доступных для осмотра, нанести красной эмалью контрольные риски (рис. II.6.22). Если после испытательных полетов производится перерегулировка, с контровочных гаек следует удалить старые риски и нанести новые. На окончательно собранных и законтренных наконечниках тяг люфты по резьбовому соединению недопустимы.

В нейтральном положении системы регулировка натяжения тросов производится путем изменения длины троса при вывертывании или ввертывании наконечников в соединительные муфты тандера с силой, указанной в чертежах. Натяжение троса осуществляют в строгом соответствии с чертежами, в которых указана величина натяжения при нормальной температуре (18—20 °С). При регулировке тросов в других температурных условиях необходимо вводить поправку в величину натяжения троса в зависимости от температуры в данное время.

Резьбовые наконечники тросов должны быть ввернуты в муфты тандеров на одинаковые длины, при этом максимальный выход резьбы наконечника из муфты допускается не более чем на 3 нитки. Для удобства регулировки и подхода к соединениям тандеры тросовых проводок и регулируемые концы тяг располагают в шахматном порядке. После натяжения тросов с силой, указанной в чертеже, тандерное соединение должно быть законтрено в соответствии с требованиями ОСТ 1.00666—73 (рис. II.6.23). После регулировки системы управле-

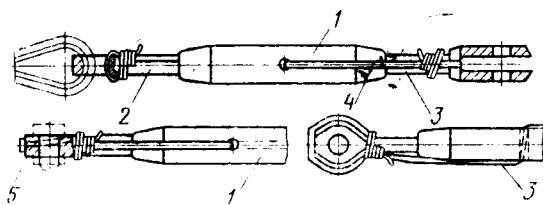


Рис. II.6.23. Контровка тандерных соединений:
1 — муфта; 2 — ушко под коуш; 3 — вилка;
4 — проволока; 5 — ушко под валик.

ния, во избежание поломок качалок и кронштейнов, перед началом проверки отклонения органов управления снимают все штыри, фиксирующие нейтральное положение. При регулировке системы управления необходимо предусматривать зазоры, исключающие трение между элементами конструкции каркаса и элементами системы управления.

Оси тросов должны совпадать с плоскостями роликов. Допустимый перекося троса относительно плоскости канавки ролика не должен превышать $\pm 2^\circ$ (рис. II.6.24). Зазор между ушками тяг и вил-

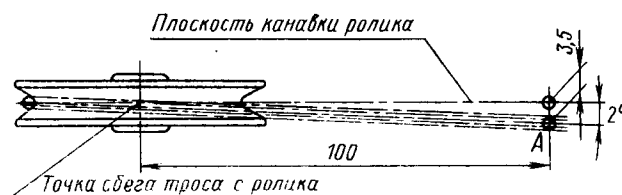


Рис. II.6.24. Допустимый перекося троса относительно плоскости канавки ролика.

ками качалок при отклонении в крайние положения должен быть не менее 3 мм (рис. II.6.25), между ушками тяги и внутренними плоскостями щек вилки качалки не менее 0,3 мм при любых рабочих положениях (рис. II.6.26). Зазор можно обеспечить фасками на кромках внутренних сторон щек вилок качалок.

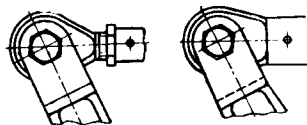


Рис. II.6.25. Зазор между ушками тяг и вилками качалок.

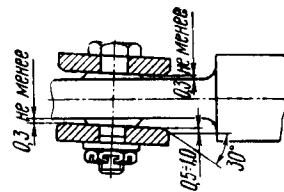


Рис. II.6.26. Зазор между ушками тяги и внутренними плоскостями щек вилки качалки.

Зазор между тросом и кронштейном, по ролику которого проходит данный трос, а также между деталями каркаса, расположенными на расстоянии не более 100 мм от точки сбега троса с ролика, должен быть не менее 2 мм.

Все движущиеся и вращающиеся детали системы управления не должны касаться деталей конструкции каркаса и оборудования, при этом зазоры должны быть не менее 4 мм для тяговых и не менее 5 мм для тросовых проводок при всех рабочих положениях элементов систем управления. Зазоры между подвижными деталями системы управления и подвижными деталями других агрегатов во всех случаях должны быть не менее 5 мм для тяговых и тросовых проводок, а между подвижными деталями системы управления и электрожгутами — не менее 10 мм при любых положениях элементов управления.

Глава 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Контролепригодность и регулируемость бортовых систем являются существенной частью общей технологичности изделия.

Понятие «контролепригодность» определяется по ГОСТ 19919—74 как свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами. Под заданными средствами может пониматься как имеющееся, так и вновь создаваемое контрольно-испытательное оборудование, используемое при изготовлении и эксплуатации изделия.

Более общим является понятие «контролепригодность конструкции», определяемое по ГОСТ 18831—73 как свойство конструкции изделия, обеспечивающее возможность, удобство и надежность ее контроля при изготовлении, испытании, техническом обслуживании и ремонте.

ГОСТ 18831—73 определяет регулируемость конструкции как свойство конструкции изделия, обеспечивающее возможность и удобство ее регулирования при сборке, техническом обслуживании и ремонте для достижения или поддержания работоспособности.

Эффективность производственного контроля бортовых систем определяется степенью достоверности полученной информации, трудоемкостью и циклом контроля, стоимостью контрольно-испытательных средств, квалификацией рабочих-операторов.

Достоверность контроля определяется по ГОСТ 19919—74 как показатель степени объективности отображения результатами контроля действительного технического состояния объекта контроля (ОК). Составляющими достоверности являются методическая и инструментальная достоверности — полнота контроля, которые определяются совокупностью контролируемых параметров и характеристик ОК, методикой контроля, принятыми критериями оценки технического состояния ОК, точностью и стабильностью измерительной аппаратуры.

Бортовые системы и комплексы (объекты контроля), контрольные средства, техническая документация и люди в процессе контроля образуют единую систему, эффективная деятельность которой зависит от совершенства составляющих ее частей.

Контролепригодность определяется не только конструктивными особенностями бортовых систем, но и конструкторской документацией, к которой относятся технологические инструкции (ТИ). По ГОСТ 3.1102—70 технологическая инструкция — документ, содержащий описание методики контроля и правила пользования оборудованием и приборами. ТИ составляется предприятием-разработчиком на ответственные операции, определяющие качество изделия или требующие дополнительных разъяснений при их выполнении, на стадиях предварительного проектирования, изготовления опытного образца и серийного производства (ГОСТ 3.1105—71). По результатам практического применения ТИ уточняется и дополняется.

Повышение достоверности производственного контроля, снижение его трудоемкости и сокращение цикла связано с автоматизацией процессов на основе использования средств вычислительной техники и управляющих ЭВМ.

Современные методы эксплуатации предполагают техническое обслуживание и замену комплектующих изделий по техническому состоянию. Для поддержания заданного уровня надежности при эксплуатации необходим непрерывный или дискретный контроль и измерение параметров, определяющих техническое состояние. Бортовые средства измерения и регистрации параметров, системы контроля и диагностики технического состояния содержат устройства сбора и анализа информации, разветвленную сеть преобразователей, логических анализаторов, каналов передачи и вывода информации. Конструкция бортовых систем встроенного контроля и правила их применения должны предусматривать возможность использования их для производственного контроля, особенно на завершающих этапах производства — в цехе общей сборки и на контрольно-испытательной станции.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

При обеспечении контролепригодности бортовых систем необходимо учитывать цели и задачи их производственного контроля, особенности организации, методы и средства контрольно-испытательных работ, разнообразие их видов в цехах агрегатной и общей сборки, на входном контроле, на контрольно-испытательной станции и в цехе окончательной отработки. При контроле качества монтажа, автономных испытаниях подсистем и систем, при комплексном контроле производятся регулировка и настройка отдельных блоков и устройств, устранение дефектов. По мере завершенности монтажно-сборочных и регулировочных работ возрастает возможность механизации и автоматизации процессов контроля. На заключительных этапах производства увеличивается экономическая целесообразность применения автоматизированных средств контроля.

При проверке качества монтажа и автономном контроле отдельных участков и подсистем применяется параметрический контроль, заключающийся в последовательной проверке параметров — физических величин, характеризующих отдельные стороны общей работоспособности. Контролепригодность при этом обеспечивается наличием контрольных точек, подготовленных к удобному съему сигналов, рациональным выбором и размещением устройств регулировки и настройки (конструктивные компенсаторы, винты, ручки, верньеры и т. п.).

При комплексном контроле, проверке связей отдельных систем, образующих функциональные комплексы бортового оборудования, кроме параметрического, применяется тестовый контроль. По специально составленной программе проверяется правильность решения системой или бортовым комплексом определенной задачи (теста). При тестовом

контроле в более полном виде, чем при параметрическом воспроизводятся эксплуатационные режимы работы контролируемого объекта. Тестовый контроль позволяет в сравнительно короткое время получить информацию о состоянии объекта контроля в целом, но, как правило, не дает возможности определить место неисправности, что можно сделать при контроле отдельных параметров. Наибольший эффект дает сочетание различных методов контроля.

При контроле правильности монтажа трубопроводных систем, систем управления, электрокоммуникаций и при автономных проверках планерных систем применяется специализированное контрольно-испытательное оборудование, спроектированное и изготовленное, как правило, на серийном заводе. При функциональном контроле радиоэлектронных систем, систем автоматического управления применяются сервисная контрольно-поверочная аппаратура (КПА), поставляемая на серийный завод, и покупные контрольно-измерительные приборы общего применения.

Для повышения эффективности контрольно-испытательных работ в серийном производстве необходимо обеспечить метрологическое единство разнообразных методов и средств контроля на всех этапах производственного процесса, обеспечить оптимальный уровень автоматизации процессов контроля и поиска неисправностей, сократить время подготовительно-заключительных работ, выявления и устранения дефектов.

Назначение и условия эксплуатации летательного аппарата определяют общие принципы эксплуатационного технического обслуживания, критерии оценки работоспособности бортовых систем, назначение и структуру бортовых средств и систем контроля и диагностики. Уже на первых стадиях проектирования бортовых систем необходимо определить требуемый уровень контролепригодности, ясно представить не только их функции, но и методы производственного контроля, требования к сервисному и специализированному контрольно-испытательному оборудованию. Разработка единой системы производственного и эксплуатационного контроля и входящих в нее средств должна происходить одновременно с проектированием бортовых систем.

В процессе проектирования и экспериментального исследования узлов, блоков, устройств и бортовых систем в целом на основе общих критериев оценки работоспособности выявляются определяющие техническое состояние системы параметры и характеристики, подлежащие контролю на различных этапах производства и эксплуатации; выбираются контролируемые режимы работы и условия контроля, необходимые стимулирующие и управляющие воздействия, намечаются точки ввода и съема сигналов и т. п.

На основе анализа статистических данных по отказам блоков и систем-аналогов, исследования на математических и физических моделях, результатов экспериментальной отработки систем на натурных и полунатурных стендах определяются оптимальная последовательность и содержание операций контроля и алгоритмы поиска неисправностей, рассчитываются допустимые отклонения параметров, стати-

ческих и динамических характеристик систем и их блоков.

Для обеспечения единства уровня контролепригодности бортовых систем, которые разрабатывают и изготавливают разные предприятия нескольких министерств, генеральный разработчик должен сформулировать как общие, так и частные технические требования к контролепригодности систем и к средствам их контроля с учетом требований заказчика (эксплуатирующие организации) и изготовителя (серийное производство).

Общие требования определяют принципиальные основы системы «объект контроля — технология — средства» и взаимное сочетание ее частей. В общих требованиях необходимо определить объем и содержание контрольно-испытательных работ по этапам эксплуатации и серийного производства, необходимый уровень трудоемкости, цикл работ и квалификацию исполнителей, степень достоверности результатов контроля, уровень автоматизации процессов.

Разработчики бортовых систем — объектов контроля (ОК) должны представить проектировщикам средств контроля следующие данные:

1. Назначение ОК, его функции и эксплуатационные варианты (режимы) работы с выделением аварийных режимов.

2. Состав ОК, входящие в него системы и подсистемы, их комплектность и законченность монтажа при проведении определенных видов испытаний и контроля.

3. Взаимодействие подсистем ОК и связи ОК с другими бортовыми системами. Виды и уровни сигналов в каналах связи.

4. Расположение основных блоков, устройств и коммуникаций ОК на изделии с выделением устройств управления, сигнализации, точек ввода управляющих и стимулирующих сигналов и вывода измерительной информации.

5. Питание ОК, в том числе виды энергии, ее параметры (вид тока, частота, напряжение, давление жидкости или газа, расход и т. п.), допустимые отклонения параметров питания.

6. Контролируемые параметры и характеристики с указанием названия и единицы измерения; диапазона рабочих значений и предельно возможных значений, которые может иметь сигнал при любых неисправностях ОК; номинальных значений и допустимых отклонений в заданные моменты измерения; требований к линиям связи ОК со средствами контроля (экранировка, допустимая длина и т. п.).

К сведениям о параметрах необходимо приложить графики, формулы, таблицы или другие материалы, отражающие зависимость значения параметра от различных факторов (время, температура, уровень и вид помех, колебания питания и т. п.).

Все сведения о параметрах должны соответствовать месту соединения ОК со средствами контроля. Аварийные параметры и сведения о них должны выделяться.

7. Стимулирующие сигналы и воздействия с указанием названия и единицы измерения; диапазона рабочих значений; номинальных значений и допустимых отклонений в заданные моменты контроля; входных характеристик точек ввода на ОК (входное сопротивление, перегрузочная способность и т. п.).

8. Описание встроенных в ОК средств контроля, штатных преобразователей (датчиков), линий связи и т. п. с указанием возможности их использования при производственном контроле.

9. Описание основных этапов контроля и входящих в них проверок с указанием цели проверки на данном этапе; начальных, промежуточных и конечных положений управляющих и сигнальных устройств, тумблеров АЗС, управляемых органов изделия; значений стимулирующих и контролируемых сигналов в заданные моменты времени или на определенных этапах контроля; обоснований необходимой точности измерений, частоты опроса контрольных точек.

10. Описание процессов поиска неисправностей с указанием необходимой глубины контроля (перечень сменных блоков, до которых должен осуществляться поиск неисправностей). Алгоритм поиска должен отражать логическую последовательность контроля вспомогательных параметров, обеспечивающую однозначное определение блока, в котором находится отказавший элемент (по ГОСТ 19919—74 вспомогательным называется параметр, используемый для поиска места отказа).

11. Требования к степени автоматизации процессов контроля и их техническое обоснование.

Независимо от экономических соображений необходимо автоматизировать все процессы контроля динамических параметров (измерение, регистрация, регулирование стимулирующих воздействий, питание и т. п.), контроля в темпе реальной работы ОК, когда оператор не успевает выполнять необходимые операции, оценку результатов измерений, когда визуальный отсчет не обеспечивает необходимой степени объективности и т. п.

Требования к контрольно-испытательному оборудованию определяются указанными выше характеристиками ОК, содержанием процесса контроля и технико-экономическими условиями производства (трудоемкость и цикл работ, программа выпуска и т. п.).

Проектирование средств контроля должно происходить параллельно с проектированием бортовых систем с минимальным запаздыванием, поэтому технические условия на проектирование средств контроля, включающие приведенные выше сведения, периодически уточняются и дополняются. В свою очередь, по мере создания средств контроля вносятся изменения в конструкцию бортовых систем — объектов контроля.

Контролепригодность бортовых систем определяется, в первую очередь, объемом и содержанием информации, которую необходимо получить, чтобы составить суждение об их работоспособности, и возможностями и условиями получения этой информации. Условия получения информации в значительной мере определяются конструктивной приспособленностью ОК к контролю. При проектировании ОК необходимо:

1. Обеспечить вывод на контрольные разъемы борта информации в форме электрических сигналов, что обеспечивает удобство ее передачи, преобразования, оценки, индикации и регистрации. Предусмотреть средства защиты электрических цепей бортовых систем от возможных неисправностей

средств контроля и соединительных линий, подключенных к бортовым контрольным разъемам.

2. Унифицировать с помощью бортовых преобразователей выходные сигналы, сократив их номенклатуру. Унифицировать стимулирующие сигналы и входные воздействия.

3. Обеспечить возможность автономного контроля подсистем и систем без существенной расстыковки коммуникаций и демонтажа блоков и элементов.

4. Обеспечить рациональную группировку и размещение на борту точек подсоединения контрольно-испытательных средств, исходя из требований их доступности, простоты стыковки, длины коммуникаций и т. п.

5. Обеспечить возможность регулировки и настройки параметров и характеристик как отдельных систем, так и их комплексов, без демонтажа агрегатов.

Группировать регулировочные устройства в легкодоступных местах и вводить устройства, позволяющие контролировать регулируемые величины в процессе их настройки.

6. Обеспечить доступность и легкосъемность агрегатов, которые необходимо демонтировать при контроле систем.

7. Устанавливать устройства (ответвители) в каналах систем для параллельного съема сигналов.

8. Обеспечить возможность контроля до сменного блока при поиске неисправности без расстыковки систем и без установки технологических датчиков.

ОЦЕНКА КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ

Оценка контролепригодности бортовых систем может основываться на величине трудоемкости и циклового времени. Более общим критерием является стоимость контроля, зависящая от трудоемкости, квалификации работающих, стоимости контрольно-испытательного оборудования, достоверности контроля и др.

Временной показатель K_n определяется по формуле

$$K_n = \frac{T}{T + T_1}, \quad (1)$$

где T — основное время контроля;

T_1 — вспомогательное время.

Вспомогательное время или время на подготовительно-заключительные работы включает время на необходимые демонтажные и монтажные работы (расстыковка, демонтаж блоков, восстановление системы), время на установку и снятие после контроля технологических датчиков и устройств ввода в систему стимулирующих и других воздействий, время на развертывание и свертывание трасс связи контролируемой системы с аппаратурой контроля, время на подготовку проверяемой системы и контрольно-испытательного оборудования.

Основное и вспомогательное время контроля определяется при проектировании бортовых систем по статистическим данным о контроле существующих аналогов, по результатам экспериментальных работ на макетах систем и опытных изделиях, а так-

же с помощью экспертных оценок. Для расчета временного показателя необходимо составить хотя бы ориентировочную циклограмму контроля, то есть последовательность операций с указанием их примерной продолжительности.

Временной показатель характеризует не только контролепригодность, но и взаимное соответствие объекта контроля и контрольно-испытательного оборудования, и не является поэтому абсолютным независимым показателем.

Отдельные стороны контролепригодности характеризуют коэффициенты демонтажа K_d и приемственности $K_{пр}$

$$K_d = \frac{N - N_c}{N}; \quad (2)$$

$$K_{пр} = \frac{C - C_n}{C}, \quad (3)$$

где N — общее количество агрегатов контролируемой системы;

N_c — количество агрегатов, которые нужно демонтировать с изделия при контроле;

C — стоимость применяемого при контроле старого и нового технологического оборудования;

C_n — стоимость нового оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

Авиационные цифровые системы контроля и управления. Сб. под ред. В. А. Мясникова, М. «Машиностроение», 1976.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ, РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПРИ ОБОБЩЕНИИ И ОЦЕНКЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Общие вопросы технологичности конструкции изделия

ГОСТ 14.201—73 «Общие правила обработки конструкции изделия на технологичность» (срок действия продлен до 01.01. 1986 г.).

ГОСТ 18.831—73 «Технологичность конструкций. Термины и определения» (срок действия без ограничения).

СТП 999.48—77 «Испытания и контроль бортовых систем. Термины и определения». НИАТ, 1978.

ГОСТ 14.004—74 «ЕСТПП. Терминология. Основные положения, термины и определения основных понятий».

ГОСТ 2.121—73 «Технологический контроль конструкторской документации» (срок действия без ограничения).

ГОСТ 14.202—73 «Правила выбора показателей технологичности конструкции изделий» (срок действия продлен до 01.01. 1986 г.).

ГОСТ 14.203—73 «Правила обеспечения технологичности конструкции сборочных единиц» (срок действия продлен до 01.01. 1986 г.).

ГОСТ 14.204—73 «Правила обеспечения технологичности конструкции деталей» (срок действия продлен до 01.01. 1986 г.).

Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. НИАТ, 1972.

ТР-831—73 Обеспечение постоянства установки оборудования и коммуникаций на изделиях легкого класса. НИАТ, 1973.

ТР-1341—76 Макет-эталон инструментальный. Конструкция и размеры. Порядок сборки и обработки. НИАТ, 1976.

Методические материалы. Увязка и сборка агрегатов с малой строительной высотой на базе применения технологического натурного стенда. НИАТ, 1973.

ГОСТ 2.101—68 «ЕСКД. Виды изделий».

Руководство по эксплуатационной технологичности самолетов (шифр С. 1.5.2), ГОСНИИЭРАТГА, 1978.

ГОСТ 2.103—68 «ЕСКД. Стадии разработки».

Методика обработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. М. Изд-во стандартов, 1976.

ТР-597—72 Компоновка гидравлических систем в изделиях среднего класса. НИАТ, 1972.

Методика «Оценка технологичности систем бортового оборудования изделий». НИАТ, 1980.

Технологичность конструкций трубопроводных бортовых систем

ГОСТ 13954—74 ÷ ГОСТ 13977—74 «Соединения трубопроводов по наружному конусу».

ГОСТ 16039—70 ÷ ГОСТ 16078—70 «Соединения трубопроводов по внутреннему конусу».

ОСТ 1.41276—72 ÷ ОСТ 1.41301—72 «Патрубки авиационные бортовые. Требования к технологии производства».

ОСТ 1.41420—73 ÷ ОСТ 1.41439—73 «Монтаж трубопроводных систем. Обеспечение взаимозаменяемости элементов».

ОСТ 1.12051 — 75

ОСТ 1.00770—74

«Соединения трубопроводов по наружному конусу с криволинейной развальцовкой».

ОСТ 1.12052—75 ÷ ОСТ 1.12075—75

ОСТ 1.00759 — 75 «Соединения облегченных трубопроводов».

ОСТ 1.10539—72 ÷ ОСТ 1.10547 — 72

ОСТ 1.00548 — 72 «Соединения трубопроводов по внутреннему конусу с раскатанными в ниппели концами труб».

ОСТ 1.11392—73, ОСТ 1.11394—74, ОСТ 1.11842—74 ÷ ОСТ 1.11852—74 и ОСТ 1.12403—76 ÷ ОСТ 1.12508—76 «Соединения трубопроводов пайкой».

ОСТ 1.10381 — 71 ÷ ОСТ 1.10428 — 71

ОСТ 1.00531 — 71 «Арматура с обжимными гайками для соединения трубопроводов по внутреннему конусу».

ОСТ 1.10045—71 ÷ ОСТ 1.10065—71 «Соединения трубопроводов фланцевые из алюминиевого сплава для воздушных, топливных и масляных систем».

ОСТ 1.10078—71 ÷ ОСТ 1.10093—71 «Соединения трубопроводов фланцевые из стали для воздушных систем».

ОСТ 1.11958—74 ÷ ОСТ 1.11963—74 «Соединения трубопроводов фланцевые с упругим металлическим кольцом для горячего воздуха».

ОСТ 1.11970—74 ÷ ОСТ 1.11975—74 «Соединения фланцевые облегченные для трубопроводов воздушных систем».

ОСТ 1.11461—75÷ОСТ 1.11475—75 «Соединения трубопроводов подвижные для топливных систем».

РТМ-1120. Конструктивно-технологическая обработка трубопроводных систем и изготовление деталей из труб. Ч. 1. Изд. 2-е. НИАТ, 1969.

РТМ 1.4.534—79 Монтаж, контроль и испытание гидрогазовых и топливных систем.

ТР-597—72 Компоновка гидравлических систем в изделиях среднего класса. НИАТ, 1972.

ТР-652—72 Эталонирование трубопроводов систем самолетов и вертолетов. НИАТ, 1973.

ТР-1023—74 Методика конструктивно-технологической обработки трубопроводных систем при подготовке серийного производства изделий. НИАТ, 1974.

ТР-1.4.604 Монтаж, контроль и испытание гидравлических систем, работающих на жидкости НГЖ-4.

Контроль герметичности трубопроводных бортовых систем

ОСТ 1.41159—71 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность способом накопления при атмосферном давлении с применением теческателей типа ПТИ-7. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41158—71 «Испытание гидрогазовых систем способом щупа с применением теческателей типа ПТИ-7. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41182—71 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность. Очистка и обезжиривание наружных поверхностей деталей и узлов. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41181—72 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность. Способ составления эталонной концентрации гелия. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41184—72 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность. Метод калибровки контрольных течей по газовым пузырькам в жидкости».

ОСТ 1.41315—72 «Очистка и обезжиривание струйным способом наружных поверхностей элементов систем перед испытанием их на герметичность. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41317—72÷ОСТ 1.41320—72 «Системы гидрогазовые. Контроль герметичности капиллярным, манометрическим, пневмогидравлическим и ротаметрическим методом. Типовые технологические процессы».

ОСТ 1.41405—73÷ОСТ 1.41409—73 «Испытание на герметичность емкостей гидрогазовых систем химическим методом с применением индикаторного раствора. Основные положения».

ОСТ 1.41352—72 «Системы гидрогазовые. Контроль герметичности керосино-меловым методом».

ОСТ 1.41348—72÷ОСТ 1.41351—72 «Системы гидравлические. Контроль герметичности гидростатическим методом».

ОСТ 1.41373—73÷ОСТ 1.41377—73 «Испытание на герметичность гидравлических и топливных систем визуальным люминесцентным методом. Основные положения».

ОСТ 1.41410—73÷ОСТ 1.41413—73 «Контроль герметичности галонным методом с созданием внутреннего избыточного давления в проверяемом объекте».

ОСТ 1.41499—73÷ОСТ 1.41500—73 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность способом вакуумирования с применением теческателя типа ПТИ-7».

ОСТ 1.00128—74 «Герметичность изделий. Нормы».

ПИ 1.4.688—80 Контроль герметичности изделий способом щупа. НИАТ, 1980.

ПИ-119—74 Контроль герметичности гидрогазовых систем и их элементов (соединений, узлов и агрегатов) способом накопления при атмосферном давлении. НИАТ, 1974.

ПИ-161—70 Подготовка поверхностей объектов к контролю герметичности. НИАТ, 1971.

ПИ-155—70 Контроль герметичности гидрогазовых систем и их элементов способом вакуумирования. НИАТ, 1974.

ПИ-212—72 Контроль герметичности элементов гидрогазовых систем способом бароаквариума. НИАТ, 1972.

Методические материалы. Методика измерения суммарной утечки при контроле герметичности способом накопления. НИАТ, 1975.

Обеспечение промышленной чистоты внутренних полостей и рабочих сред трубопроводных бортовых систем

ГОСТ 17216—71 «Классы чистоты жидкостей».

ГОСТ 17433—72 «Классы загрязненности сжатого воздуха».

ГОСТ 9293—74 «Азот технический».

ГОСТ 5583—68 «Кислород газообразный технический и медицинский».

ОСТ 1.00160—75 «Системы топливные, масляные и гидравлические. Чистота жидкостей».

ОСТ 1.03582—80 «Фильтры топливные».

ОСТ 1.03521—80 «Фильтроэлементы топливные».

ОСТ 1.00546—79 «Фильтры гидравлические тонкой очистки с отсеченным и перепускным устройствами и сигнализатором засорения».

ОСТ 1.03592—72 «Рукава фторопластовые с металлическими оплетками и присоединительной арматурой».

ОСТ 1.41536—74 «Электроэрозионная прошивка проходных щелей прямоугольного сечения в гильзах».

ОСТ 1.41144—80 «Определение содержания загрязнений в жидкостях по гранулометрическому составу. Метод анализа».

ОСТ 1.41145—81 «Определение весового содержания загрязнений. Метод анализа».

ОСТ 1.41372—81 «Промышленная чистота. Метод ускоренного контроля жидкости на загрязненность по гранулометрическому составу».

ОСТ 1.41086—71 «Агрегаты и технологическое оборудование. Методы отбора проб рабочих жидкостей для контроля их чистоты».

ОСТ 1.51406—72÷ОСТ 1.51411—72 «Оснастка для отбора проб жидкостей».

ОСТ 1.41519—74 «Промышленная чистота. Чистые производственные помещения. Классы чистоты воздуха».

ОСТ 1.80001—70 «Определение запыленности воздуха методом оседания частиц».

ОСТ 1.80086—73 «Определение запыленности воздуха автоматическим способом. Метод контроля».

ОСТ 1.41588—75 «Оборудование технологическое. Чистота рабочих жидкостей».

ОСТ 26-04-312—71 «Оборудование кислородное. Методы обезжиривания. Применяемые материалы».

РТМ-1124 Ликвидация технологических загрязнений топливной аппаратуры и гидроагрегатов. НИАТ, 1966.

ТР-1.4.006 Обеспечение промышленной чистоты топливно-масляных систем СТД. НИАТ, 1979.

ТР-378—70 Обеспечение чистоты топливных и гидравлических агрегатов. НИАТ, 1970.

Технологичность электропроводных бортовых систем

ГОСТ 2.414—68 «Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов».

ОСТ 1.11020—73 «Хомуты пружинные».

ОСТ 1.11028—73 «Скобы».

ОСТ 1.00680—74 «Экранирование бортовой электрической сети».

ОСТ 1.00681—74 «Металлизация самолета».

ОСТ 1.03748—74 «Заделки жгутов (кабелей) бортовой электрической сети в низковольтные, низкочастотные электрические соединители».

ОСТ 1.00239—77 «Жгуты электрической бортовой сети самолетов и вертолетов. Способы защиты подвижных участков. Технические требования».

ОСТ 1.00723—74 «Присоединение минусовых проводов к корпусам самолетов и вертолетов».

ОСТ 1.03895—78 «Узлы крепления электрожгутов на борту самолетов и вертолетов. Типы креплений».

ОСТ 1.00239—77 «Сети электрические бортовые самолетов и вертолетов. Требования к электрожгутам».

ОСТ 1.00361—79 «Типовые узлы прокладки через острые кромки элементов конструкции».

ТР-1236—75 Резка проводов и защитных трубок. НИАТ.

ТР-1242—75 Зачистка и заделка проводов БСА в наконечники и электрические соединители. НИАТ.

ТР-1.4.007 Снятие изоляции с концов проводов механическим способом. НИАТ.

ПИ-252—75 Пайка медных никелированных проводов на рабочую температуру до +250 °С. НИАТ.

ПИ-253—79 Пайка проводов марки БСА припоем Пср40. НИАТ.

ПИ-254—75 Пайка медных никелированных проводов на рабочую температуру до +200 °С. НИАТ.

ПИ-1.4.241 Пайка проводов марки БПДО, БИФ. НИАТ, 1978.

ОСТ 1.03867—77 «Заделки электрических проводов в контакты электрических соединений методом обжата».

Альбом типовых представителей оборудования, оснастки и инструмента для изготовления электрожгутов из проводов БПДО, БИФ, БФС. НИАТ, 1979.

ОСТ 1.03816—78 «Заделка облегченных теплостойких проводов в трубчатые наконечники методом обжата».

Технологичность конструкций механических систем управления

ОСТ 1.41730—78 ÷ ОСТ 1.41786—78 Монтаж тягового и тросового управления. Типовые операции технологического процесса.

ОСТ 1.12791—77 ÷ ОСТ 1.12805—77
ОСТ 1.00856—77 ÷ ОСТ 1.00857—77 «Детали тяг управления самолетов и вертолетов».

ОСТ 1.12329—76 ÷ ОСТ 1.12334—76 «Наконечники тяг управления с шарикоподшипниками, заделанными на клею».

ОСТ 1.10482—72 ÷ ОСТ 1.10495—72, ОСТ 1.00545—72 «Герметизация выводов тяг управления».

ГОСТ 2172—80 «Канаты стальные авиационные».

ГОСТ 3120—75 «Канаты стальные авиационные. Метод предварительной вытяжки».

ОСТ 1.11424—74 ÷ ОСТ 1.11426—74, ОСТ 1.00685—74 «Гладкие направляющие для канатов».

ОСТ 1.11279—73 ÷ ОСТ 1.11280—73 «Детали заделки отверстий для канатов».

ОСТ 1.10295—71 ÷ ОСТ 1.10302—71, ОСТ 1.00530—71 «Выводы канатов герметические ориентирующие».

ОСТ 1.12133—75 ÷ ОСТ 1.12139—75, ОСТ 1.00767—75 «Канаты из углеродистой и нержавеющей сталей с обжатыми наконечниками».

ОСТ 1.12336—75, ОСТ 1.00791—75 «Гильзы для заделки стальных канатов обжатием».

ОСТ 1.03796—75 ÷ ОСТ 1.03798—75, ОСТ 1.00768—75 «Заделка канатов из углеродистой и нержавеющей сталей обжатием в наконечниках».

ОСТ 1.11348—73 ÷ ОСТ 1.11357—73, ОСТ 1.00666—73 «Тандеры».

ОСТ 1.11088—73 ÷ ОСТ 1.11090—73
ОСТ 1.00628—73 ÷ ОСТ 1.00630—73 «Ролики текстолитовые системы управления».

ОСТ 1.11543—73 ÷ ОСТ 1.11544—74, ОСТ 1.00700—74 «Ролики металлические одноканавочные на шарикоподшипниках».

ОСТ 1.11189—73 ÷ ОСТ 1.11191—73, ОСТ 1.00643—73 «Валики».

РТМ-1.4.193 Монтаж тягового и тросового управления самолетов. НИАТ, 1978.

Отраслевая документация, включающая нормы времени на выполнение типовых операций технологического процесса

ОСТ 1.41212—72 ÷ ОСТ 1.41275—72 «Монтаж электро- и радиооборудования. Типовые операции технологического процесса».

ОСТ 1.41730—78 ÷ ОСТ 1.41786—78 «Монтаж тягового и тросового управления. Типовые операции технологического процесса».

ОСТ 1.41835—79 ÷ ОСТ 1.41966—79 «Монтаж бытового оборудования пассажирских самолетов».

Нормативы времени на монтаж системы управления и гидрогазовых систем. НИАТ, 1979.

Нормативы времени на комплекс работ, обеспечивающих промышленную чистоту гидрогазовых и топливных систем и их агрегатов. НИАТ, 1979.

Нормативы времени на окончательную сборку самолетов. НИАТ, 1978.

ВВЕДЕНИЕ

Значительная часть деталей современных конструкций самолетов изготавливается из листового материала, пресованных профилей и труб. Анализ показывает, что примерно 60% деталей, оформляющих наружный контур изделия (нервюры, шпангоуты, рамы, стрингеры, обшивки, обтекатели, двери, люки и др.), многие детали внутреннего оборудования самолета (полы, перегородки, приборные щитки и панели, панели интерьера и т. п.) и почти все элементы систем трубопроводов (патрубки и пр.) производятся различными методами в заготовительно-штамповочных цехах. Количество деталей из листов, профилей и труб на современных широкофюзеляжных пассажирских самолетах составляет более 120 тысяч. Поэтому от технологичности этих деталей зависит их трудоемкость и себестоимость изделия в целом.

Одним из самых эффективных заготовительно-штамповочных способов получения указанных деталей является пластическое деформирование материала в холодном состоянии. Основными достоинствами методов холодной штамповки деталей из листов, профилей и труб, которые обеспечивают ее широкое применение в промышленности, являются:

- возможность получения деталей минимальной массы при заданной прочности и жесткости;

- сравнительно высокий коэффициент использования металла заготовки;

- высокая производительность труда и широкая возможность механизации и автоматизации процесса;

- возможность получения деталей высокой точности и чистоты поверхности.

В настоящее время трудоемкость изготовления деталей штамповкой составляет 7—16% от общей трудоемкости изготовления самолетов, что в абсолютных цифрах представляет значительную величину. В заготовительно-штамповочных цехах еще имеется значительный объем доводочных ручных работ, до 30—50%.

При проектировании деталей из листа, профилей и труб конструктору важно знать технические возможности заготовительно-штамповочного производства и ориентироваться на наиболее современные его методы. При этом целесообразность применения штамповки и различных ее методов определяется исходя из масштабов производства, формы

детали, качества материала, коэффициента его использования.

Общего решения этого вопроса, пригодного для всех случаев производства, не может быть. Ориентировочно можно считать, что

- при индивидуальном производстве применение процессов штамповки рационально только в случае использования универсальных штампов;

- при мелкосерийном и серийном производстве рекомендуется применять методы холодного пластического деформирования листовых, профильных и трубчатых заготовок для получения деталей сложной конфигурации в инструментальных и упрощенных штампах на универсальных прессах и молотах или на специализированном оборудовании с использованием простого оснащения;

- при крупносерийном производстве необходимо самое широкое применение штамповки и ее новейших методов с механизацией и автоматизацией производства.

На рис. III.1 представлена зависимость технологической себестоимости детали из профильного материала от годовой программы для двух вариантов штамповки:

- а) изгибом универсальными роликами на станке ПГ-4 с последующей ручной доводкой;

- б) обтяжкой на станке ПГР-7 в два перехода.

Из графика видно, что гибка на станке ПГ-4, при которой затраты на оснастку значительно меньше, экономически выгоднее при годовой программе менее 500 шт., при большей программе экономически целесообразнее процесс обтяжки.

Для деталей из профилей с другими размерами и формой сечения график изменится и точка пересечения кривых будет соответствовать другому значению программы, но процессы останутся прежними, то есть при меньших программах — изгиб на ПГ-4, при больших — обтяжка на ПГР-7.

На рис. III.2 представлена зависимость технологической себестоимости изготовления обшивки из листового материала от годовой программы. Рассмотрены два варианта:

- а) выколотка на пневматическом молоте с примеркой по деревянной болванке;

- б) обтяжка на прессе ОП-3 с применением обтяжного пуансона.

График построен с учетом стоимости материала заготовки. Несмотря на то, что при получении де-

тали выколоткой расходы на материал и на технологическую оснастку меньше (примерно на 20 руб.), уже при выпуске деталей более 40 шт. в год процесс обтяжки становится экономически выгоднее, а качество поверхности намного выше.

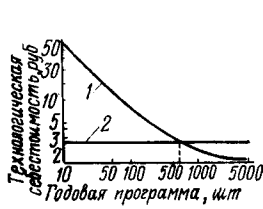


Рис. III.1. График зависимости технологической себестоимости формообразования детали из профильного материала от годовой программы (сечение профиля 1,72 см²; длина заготовки 6 м):

1 — обтяжка на станке ПГР-7; 2 — гибка универсальными роликами на станке ПГ-4.

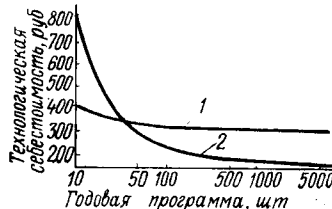


Рис. III.2. График зависимости технологической себестоимости изготовления обшивки из листового материала от годовой программы (материал листа Д16, толщина листа 1 мм):

1 — выколотка на молоте М002; 2 — обтяжка на обтяжном прессе ОП-3.

На рис. III.3 представлена зависимость технологической себестоимости формообразования листовой детали каркаса от годовой программы для двух вариантов штамповки:

- а) в инструментальном штампе;
- б) гидроэластичной средой на формблочке.

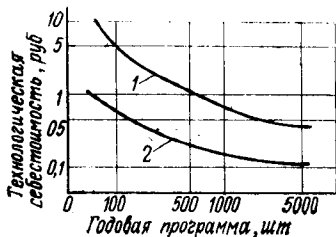


Рис. III.3. График зависимости технологической себестоимости формообразования листовой детали каркаса от годовой программы (материал листа Д16, толщина листа 1 мм):

1 — штамповка в инструментальном штампе; 2 — штамповка резиной на формблочке.

Из графика видно, что для серийного и мелкосерийного производства в самолетостроении процесс штамповки гидроэластичной средой всегда экономически целесообразнее.

За последние годы созданы мощные гидравлические прессы для групповой штамповки листовых деталей каркаса с деформирующим давлением до 1000 кгс/см² (100 МПа), гидродинамические молоты — до 3000 кгс/см² (300 МПа), серия гидропрессов для глубокой вытяжки — до 1500 кгс/см² (150 МПа), специализированные станки для гибки труб, станки с программным управлением для раскроя листовых материалов и многие другие виды оборудования, значительно облегчающие изготовление деталей из листов, профилей и труб, исключая ручные доводочные операции, позволяющие изготавливать детали значительно больших габаритных размеров и с более высокой точностью.

Помимо внедрения прогрессивного оборудования, были освоены новые материалы и созданы бо-

лее совершенные методы и процессы пластического деформирования деталей сложных форм. К числу таких материалов для самолетостроения относятся титановые сплавы, стали, высокопрочные алюминиевые сплавы, алюмопласты.

Создание новой техники и совместная обработка проектировщиками и технологами конструктивных элементов позволили найти оптимальные решения конструкций деталей, удовлетворяющие эксплуатационным требованиям и технологичности. К их числу относятся гофрированные обшивки из разнотолщинных сварных стальных листов, элементы трубопроводов из тонкостенных труб больших диаметров, оконные, дверные и потолочные панели со сложными рельефами из алюмопластов и др.

В настоящем издании учтены указанные выше особенности развития заготовительно-штамповочного производства и опыт создания новых изделий, на основе чего сформулированы технологические требования конструкторам для проектирования технологичных деталей из листовых материалов, пресованных профилей и труб.

Рекомендации по технологичности конструкций деталей из листовых материалов, пресованных профилей и труб содержат данные по выбору их рациональной формы, размеров и материалов, по назначению экономически оправданной их точности и шероховатости поверхности, по оптимальным соотношениям конструктивных элементов их деталей.

Для удобства пользования материал расположен по конструктивным признакам деталей: оболочки (обшивки из листа, обшивки с сотовым наполнителем и из панелей), детали каркаса из листа, детали каркаса из профилей, детали трубопроводов и др.

Принципиально новый раздел представляет технологичность деталей интерьера из алюмопластов.

В настоящем издании значительно расширен материал по технологичности деталей трубопроводов. Коренной переработке, с учетом возможности использования высокого давления, подверглись рекомендации по проектированию нервюр, жесткостей, окантовок; расширены рекомендации по проектированию плоских деталей.

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ САМОЛЕТА, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ ИЗ ЛИСТОВ, ПРОФИЛЕЙ И ТРУБ

Укрупненная классификация (см. схему) деталей по конструктивным признакам включает основные, наиболее распространенные формы деталей, входящих в различные конструкции самолетов. К ним относятся обшивки, листовые детали каркаса, детали внутреннего оборудования и детали интерьера, детали каркаса из пресованных профилей, детали из труб для различных систем трубопроводов.

Обшивки представляют собой наиболее крупногабаритные детали: их длины на вновь создаваемых самолетах могут достигать 10 м при ширине 1,8 м, длина обшивки из монолитных панелей — 15 м при ширине до 2 м. К обшивкам предъявляются повышенные требования по качеству поверхности.

Укрупненная классификация деталей самолета из листов, профилей и труб

Класс	Эскиз	Материалы	Ориентировочное количество наименований на изделие, % *
Обшивки		Д16, В95 ОТ4-1, ВТ20	1
Детали каркаса из листа		Д16, ОТ4-1, ВТ1-0	40
Детали каркаса из профилей			48
Детали трубопроводов		ПТ-7М, ВТ1-0, АМг2М, АМг3М, Х18Н10Т	5
Детали интерьера		Алюмо-пласты АМг2АМП4	0,8
Детали оборудования			5

* В процентах от общего количества наименований деталей на самолет, изготавливаемых из листов, профилей и труб.

Значительные габаритные размеры обшивок, несмотря на сравнительно малое количество деталей этого типа на самолетах, предъявляют особые требования к созданию механизированных средств их производства. Созданное оборудование является уникальным и дорогостоящим. Конструктору необходимо учитывать эти обстоятельства при назначении габаритных размеров отдельных деталей.

Детали каркаса из листовых материалов являются самыми многочисленными. Общим для всех

этих деталей является наличие стенки, бортов и различных элементов, повышающих их жесткость и облегчающих массу. Наиболее характерными деталями являются нервюры и диафрагмы, жесткости и различные окантовки. Основным методом их формообразования является групповая штамповка с использованием упрощенной оснастки в виде формблоков и гидроэластичных сред как универсального пуансона на специализированном оборудовании с высоким давлением, исключающим доводочные работы.

К деталям интерьера, как к элементам архитектуры, предъявляются повышенные требования к качеству поверхности и четкости конструктивных элементов. Формы и размеры деталей, их конструктивные элементы выбираются, исходя из возможности получения их только механизированными методами.

Детали каркаса из прессованных профилей также представляют очень многочисленный класс. Кроме стрингеров и шпангоутов, на самолет идет множество небольших профильных деталей с подсечками, скосами и другими элементами.

Детали из трубных заготовок для различных систем трубопроводов требуют особого внимания при проектировании. Необходимо, чтобы при их работе был обеспечен требуемый ресурс. Следовательно, конструкции этих деталей должны быть весьма технологичными и должны базироваться на современных методах механизированного их соединения сваркой и не вызывать перенапряжения материала при пластическом деформировании отдельных их конструктивных элементов.

Листовые детали бортового оборудования представляют собой сложные замкнутые формы, изготовление которых методами пластического деформирования (вытяжкой) требует сложной штамповой оснастки.

Разделы технологических рекомендаций построены в соответствии с приведенной укрупненной классификацией деталей. Для того, чтобы помочь конструктору проектировать другие виды деталей, в рекомендациях даны технологические требования к их конструктивным элементам — отверстиям, радиусам сгиба, бортам, отбортовкам, подсечкам, рифтам.

Глава 1. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВ, ПРОФИЛЕЙ И ТРУБ. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ВЫБОР МАТЕРИАЛА

При проектировании деталей конструктор должен учитывать не только способность материала удовлетворять эксплуатационным требованиям, но и его технологические свойства.

Во-первых, материалы должны обладать хорошей штампуемостью (высокая способность к пластическому деформированию) и, во-вторых, удовлетворять конкретным требованиям каждого дан-

ного технологического процесса — обеспечивать достаточную прочность изделия и не оказывать слишком высокого сопротивления в процессе обработки давлением.

О штампуемости материала ориентировочно можно судить по его механическим характеристикам — пределу прочности σ_b , пределу текучести σ_s , относительному удлинению δ и поперечному сужению ψ , диаграмме зависимости интенсивности напряженного состояния σ_i от интенсивности дефор-

мации e_s , положенной в основу всех технологических расчетов, а также по специальным технологическим пробам (на загиб, вытяжку, резку и др.).

Показатели механических испытаний характеризуют пластические свойства в самом общем, больше в качественном, чем в количественном виде, так как в процессе технологических операций заготовки подвергаются сложному нагружению, а испытание на растяжение происходит при одноосном линейном растяжении. Поэтому конечные деформации при растяжении и, например, при гибке или вытяжке не могут совпадать.

Для обработки металлов давлением наиболее подходящими являются материалы, обладающие малым пределом текучести, низкой твердостью и большим удлинением, что позволяет изготавливать деталь за минимальное количество переходов. Прочностные характеристики этих материалов за счет деформационного упрочнения после штамповки значительно повысятся. Материалы с относительным равномерным удлинением меньше 5%, как правило, требуют нагрева при формовке, а это увеличивает цикл обработки и стоимость.

При вырубке механические свойства материала сказываются, главным образом, на чистоте среза детали, стойкости инструмента и потребной мощности оборудования.

Для изготовления деталей в заготовительно-штамповочном производстве рекомендуется применять стандартные материалы, освоенные в серийном производстве:

- конструкционные нержавеющие стали;
- алюминиевые сплавы;
- магниевые сплавы;
- титановые сплавы.

Механические свойства указанных материалов приведены в Справочнике по авиационным материалам (ВИАМ, 1966).

Ниже даны предельные технологические возможности этих материалов для различных элементов и форм деталей с учетом особенностей метода деформирования и специфики оборудования, предназначенного для его реализации.

При назначении других (нестандартных) материалов проектирование детали следует вести с консультацией технолога по холодному деформированию.

Применяемые марки, вид и размеры сечений материалов, предназначенных для получения различных деталей заготовительно-штамповочными методами, необходимо унифицировать и сократить до минимума, так как их большое количество усложняет серийное производство и может привести к большим отходам и уменьшению коэффициента использования материала.

При проектировании деталей и их элементов из титановых сплавов конструктор должен иметь в виду, что эти материалы являются труднообрабатываемыми.

По признаку технологической пластичности при комнатных температурах листовые титановые сплавы подразделяются на три категории (в которых марки расположены в порядке ухудшения обрабатывания):

- А — пластичные: BT1-0 и BT1-00;

- Б — средней пластичности: OT4-0, OT4-1 и OT4;
- В — малой пластичности: BT14, BT6C, BT5-1, BT20.

Изготовление высокоточных и ресурсных деталей из титановых сплавов связано с применением специального оборудования и дорогостоящей оснастки, а также с увеличением цикла ее изготовления. Стоимость детали из титанового сплава (без учета стоимости материала) в 2,5–10 раз выше стоимости эквивалентной по форме и размерам детали из алюминиевых сплавов. При этом стоимость изготовления детали растет с увеличением предела прочности материала. Необходимость применения высокопрочных титановых материалов должна быть обоснована условиями эксплуатации детали.

Надежность деталей в определенной мере зависит от вида окончательной термической обработки. Конструктор должен учитывать, что усложнение окончательной термообработки, например для титановых сплавов замена неполного отжига на полный, в воздушной среде на вакуумный, отжига на закалку и старение, значительно удорожает производство деталей.

Конструктор должен учитывать, что вид окончательной термообработки зависит от условий эксплуатации. Вид и порядок окончательной термообработки детали конструктор указывает на чертеже.

Если в чертеже это указание отсутствует, то для титановых сплавов производится неполный отжиг в воздушной среде.

ФОРМА И РАЗМЕРЫ ДЕТАЛИ

Детали, изготавливаемые из листового материала, должны иметь по возможности простой контур и геометрическую форму, плавные переходы от одного сечения к другому с обязательным соблюдением рекомендуемых соотношений между отдельными конструктивными элементами. Соединение нескольких стальных или титановых полуфабрикатов в одну заготовку путем автоматической сварки значительно увеличивает стоимость изготовления детали за счет правки и подгонки заготовок и повышения процента брака по разрушениям при формообразовании. В связи с этим рекомендуется наибольшие размеры деталей и их разверток выбирать, исходя из сортамента листовых полуфабрикатов.

Формообразование деталей сложных форм связано с применением дорогостоящей оснастки из высокопрочных материалов и большим количеством формообразующих, доводочных, термических и химических операций. Целесообразно оценить возможность членения сложной формы деталей на ряд простых форм.

На рис. III.1.1. показана нетехнологичная конструкция детали типа обшивки или кожуха с наличием местной выпуклости, резко отличающейся по кривизне от остальных участков ее поверхности. Для повышения технологичности такой детали (исключения ручных доводочных операций, повышения качества) необходимо выполнять выпуклости в виде отдельных деталей, что позволит изготавливать обе детали механизированными способами раздельно и свести к минимуму технологический брак заготовок.

Листовые детали из титановых сплавов и сталей соединяются в под сборки, как правило, сваркой, при этом возможны искажения (коробления) форм под сборки.

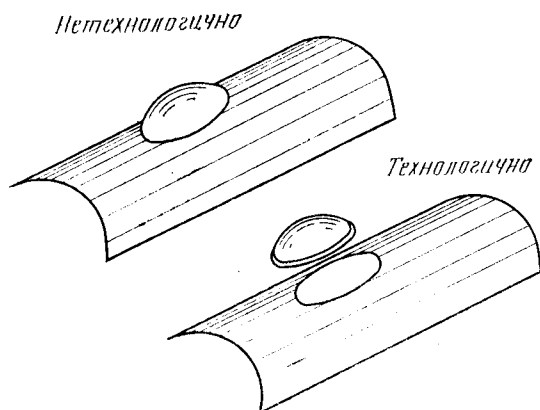


Рис. III.1.1. Два варианта конструктивного оформления обшивки.

При соединении деталей сваркой необходимо тщательно анализировать разъемы и порядок сборки. Разъемы следует проектировать таким образом, чтобы под сборка (в случае необходимости) могла пройти термообработка в фиксированном состоянии, причем каждый элемент под сборки мог бы находиться под нагрузкой (в том числе и реактивной), а соединение деталей в под сборки производилось автоматической сваркой.

Ввиду значительной сложности изготовления деталей из титановых сплавов не рекомендуется их проектировать из материала толщиной менее 0,6 мм.

Размеры проектируемых деталей должны увязываться с габаритными размерами и мощностью заготовительно-штамповочного оборудования, на котором предполагается изготовление данных деталей. Предпочтение следует отдавать цельноштампованным деталям, прибегая к сборным (клепаным, сварным) только в случаях затруднения в формообразовании цельных деталей либо при более эффективном использовании материала. Так, например, формовка детали из стали, показанной на рис. III.1.2, требует для зон *a* и *b* (большая кривизна) более высокого давления, чем для зоны *c*.

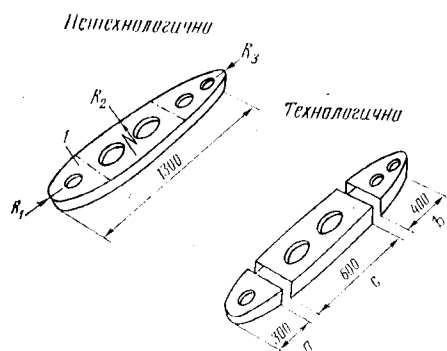


Рис. III.1.2. Перегородки из стали с двумя конструктивными решениями.

Руководствуясь соображениями обеспечения бездоводочной штамповки, экономически целесообразно в данном случае указанную деталь расчленить

на три элемента для изготовления ее на различном оборудовании.

Ниже приведены примеры конструктивных решений, снижающих расход материала, трудоемкость и стоимость изготовления при обеспечении необходимой надежности: изготовление обтекателя цельноштампованным (рис. III.1.3.), а не сварным;

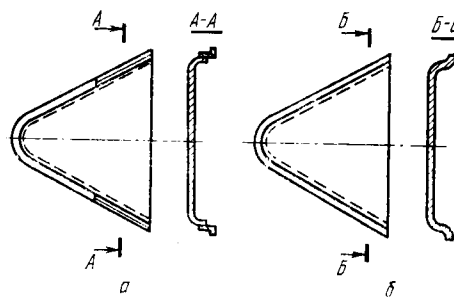


Рис. III.1.3. Обтекатель:

a — сварной; *б* — цельноштампованный.

изготовление детали типа фланца сварной конструкции (рис. III.1.4) позволяет заменить пять тяжелых операций.

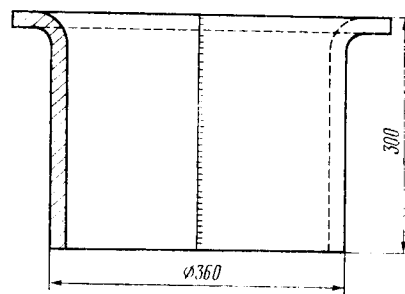


Рис. III.1.4. Фланец сварной.

Гидроцилиндр шасси (рис. III.1.5) запроектирован со сварным кольцевым швом. Его обечайка и днище получены механообработкой.

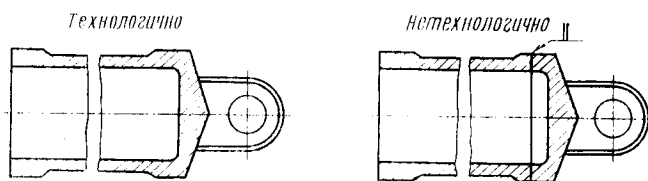


Рис. III.1.5. Гидроцилиндр шасси.

Учитывая технологические возможности процесса холодной раскатки, более выгодно создавать бесшовную его конструкцию. Исходная заготовка в этом случае будет иметь длину, в 2—3 раза меньшую длины самой детали. При этом значительно сократятся расход металла и трудоемкость, повысятся эксплуатационные качества и надежность.

Элементы штампуемых деталей должны быть унифицированы, что в значительной степени облегчит подготовку и выполнение серийного производства. Унификации подлежат диаметры вырубki, пробивки и вытяжки, радиусы сопряжений плоских и объемных деталей, элементы жесткости, углы

гибки. На рис. III.1.6 дан пример улучшения конструктивного оформления штампованной детали путем унификации отдельных элементов и сокращения количества размеров.

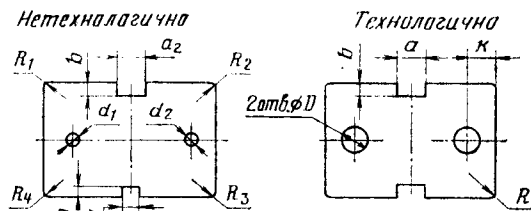


Рис. III.1.6. Пример улучшения оформления штампованной детали путем унификации ее элементов.

Важным условием снижения стоимости изготовления деталей из титановых сплавов является повышение повторяемости за счет унификации деталей и их элементов для различных агрегатов изделия при модификации изделия и переходе на новое изделие. Конструкция деталей должна быть отработана таким образом, чтобы не подвергаться изменениям в процессе серийного выпуска изделия. Разъемы пространственных деталей должны быть в одной плоскости (рис. III.1.7), так как в противном случае усложняется штамповая оснастка, увеличивается расход материала.

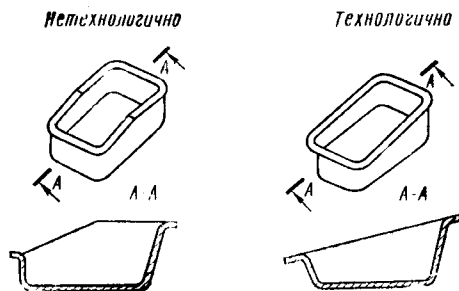


Рис. III.1.7.

Плоским штампованным деталям необходимо придавать такие контуры и размеры, при которых использование материала было бы наиболее экономичным. На рис. III.1.8 показан пример удачного подбора формы и размеров деталей, когда вторая деталь получается из отходов вырубki.

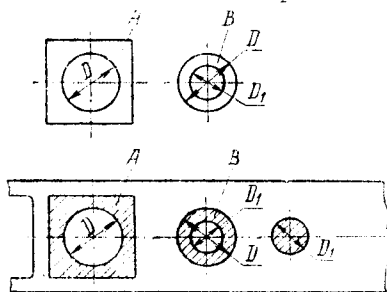


Рис. III.1.8.

На рис. III.1.9 дан пример безотходной вырубki, на которую следует ориентироваться, когда это позволяют простая форма плоской детали и сво-

бодные допуски на размеры. Детали, полученные безотходной вырубкой, должны иметь углы без

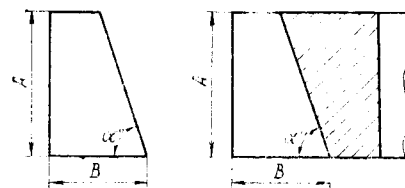


Рис. III.1.9.

радиусов скругления и более свободные допуски — в 2—3 раза больше, чем при обычной вырубке с перемычками.

ТОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

Точность выполнения деталей из листовых материалов характеризуется производственными погрешностями геометрических параметров, определяющими их размеры и форму.

Анализ условий заготовительно-штамповочного производства показывает, что различные методы холодной штамповки с использованием универсального оборудования (механических и гидравлических прессов, гильотинных ножиц) позволяют стабильно получать детали по 7-му классу точности. Введением дополнительных операций по калибровке, зачистке можно достичь точность 6—5-го класса. Применение уникальных прессов типа П5054 усилием 24 000 тс, специального оборудования с импульсным характером нагрузки дает возможность изготовить детали по 4—3-му классу точности.

Точность деталей по 3—2-му классу можно получить, используя процессы горячей листовой штамповки и термофиксации или штамповки в условиях сверхпластичности материалов.

Практика показывает, что повышение точности изготовления детали на один класс вызывает значительное (более 3 раз) увеличение производственных расходов. Поэтому при назначении допусков на размеры листовых деталей конструктор должен руководствоваться нормами экономической точности для каждого из возможных методов изготовления проектируемой детали. В таблице приведены точностные возможности различных заготовительно-штамповочных методов.

Ввиду высокого отношения предела текучести к модулю нормальной упругости детали из титановых сплавов после штамповки имеют меньшую точность, чем соразмерные детали из алюминиевых сплавов. Неконтролируемые деформации, которые имеют место при ручной правке, могут вызвать преждевременное разрушение детали в эксплуатации. Поэтому конструктору при проектировании деталей из титановых сплавов рекомендуется назначать рациональную точность, значения которой также указаны для каждого конструктивного элемента и деталей в соответствующих разделах. Более высокую точность деталей рекомендуется назначать только в случае оправданной необходимости.

Рационально, с точки зрения снижения стоимости изготовления детали и уменьшения сроков под-

Точность и шероховатость поверхности листовых деталей, получаемых в заготовительно-штамповочном производстве

Метод обработки	Класс точности детали	Шероховатость	
		по ГОСТ 2940—63	по ГОСТ 2789—73
Резка на ножницах материала длиной до 2000 мм	7	~	$\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$
Вырезка на фрезерных станках, в том числе и с программным управлением	3—5	$\nabla 3$	$\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$
Вырезка в штампах на универсальных прессах листов толщиной до 3 мм	5	$\nabla 3$	$\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$
То же для листов толщиной 3—5 мм	7	$\nabla 3$	$\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$
Чистовая вырубка в специальных штампах на специальном оборудовании	8	$\nabla 6$	2,5 1,25 $\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$
Гибка в инструментальных штампах	7—8	Тождественные шероховатости заготовки	
Вытяжка	4—5 (по диаметру)	$\nabla 6$	2,5 1,25 $\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$
Вытяжка в горячем состоянии	—	~	$\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$
Вытяжка с калибровкой	2—3	$\nabla 8$	0,64 0,32 $\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$
Вытяжка и формовка взрывом	5	$\nabla 9$	0,32 0,16 $\sqrt{\text{Rz 80}}$ $\sqrt{\text{Rz 40}}$

готовки производства, не предъявлять повышенных требований по точности деталей из листовых титановых сплавов, а допускать сборку под напряжением или применять различного рода компенсаторы. В тех случаях, когда точность элементов деталей фактически не сказывается на прочности детали или на условиях сборки, рекомендуется отклонения по фактическим допускам, полученным при штамповке, согласовывать с производством.

Допуски на размеры следует выбирать с учетом получения их обычными операциями без дополнительной обработки. Приведенные выше классы точности для различных заготовительно-штамповочных способов являются предельными.

Для многотиражных деталей, когда это возможно, необходимо назначать больший допуск, учитывая, что в крупносерийном производстве размер допуска на деталь предопределяет допустимый износ рабочих частей штампов.

Шероховатость поверхности деталей, в том числе кромок листовых деталей, влияет на конструктивные и эксплуатационные характеристики деталей. Однако степень и закономерности этого влияния изучены недостаточно полно, чтобы конструктор мог всегда правильно назначить класс шероховатости.

Излишне высокие классы шероховатости следует признавать недопустимыми, так как это приводит к значительному усложнению и удорожанию обработки, причем иногда без заметного улучшения эксплуатационных качеств. В таблице приведены практические данные шероховатости поверхности деталей, на которые следует ориентироваться при выборе класса шероховатости. При выборе шероховатости необходимо учитывать затраты на ее достижение.

Глава 2. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТА

КОНФИГУРАЦИЯ И РАЗМЕРЫ ОТВЕРСТИЙ

Отверстия на деталях должны иметь контур простых геометрических фигур с возможно большим радиусом R сопряжения их прямых участков (рис. III.2.1). Радиусы сопряжений должны быть нормализованы, а их минимальные значения (для

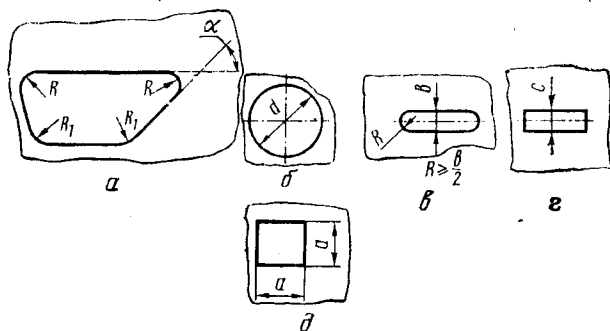


Рис. III.2.1. Рекомендуемые контуры отверстий:

а — отверстие сложной формы; б — круглое отверстие; в — овальное отверстие; г, д — прямоугольные отверстия.

штамповки) должны удовлетворять данным табл. III.2.1.

При проектировании деталей следует избегать резких переходов, узких и длинных открытых прорезей.

Таблица III.2.1

Минимальные значения радиусов R сопряжения сторон отверстий

Материал	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$
Сталь, алюминиевые сплавы	0,4s	0,7s
Титановые сплавы ВТ1 без подогрева и ВТ5 с подогревом	0,6s	0,8s
Титановый сплав ВТ5 без подогрева	1,75s	2,25s

При проектировании деталей конструктору следует учитывать, что отверстия, получаемые вырубкой, должны иметь определенные размеры, чтобы обеспечить достаточную стойкость инструмента. Минимальные размеры пробиваемых отверстий зависят от формы и механических свойств материала, их значения рекомендуется выдерживать по табл. III.2.2.

Таблица III.2.2

Минимальные размеры отверстий, получаемых пробивкой

Контур отверстий	Минимальные размеры отверстий	Материал					
		сталь, σ_b , кгс/мм ²			алюминиевые сплавы	титановые сплавы	
		до 50	50—70	св. 70		BT1 и BT5 с нагревом	BT5 без нагрева
Круглое	Диаметр d	s	$1,2s$	$1,5s$	$0,7s$	$0,75s$	$2s$
Квадратное	Сторона a	s	$1,1s$	$1,3s$	$0,5s$	$0,75s$	$2,2s$
Прямоугольное	Меньшая сторона c	$0,7s$	$0,9s$	$1,1s$	$0,5s$	$0,75s$	$2,2s$
Овальное	Ширина b	$0,9s$	s	$1,2s$	$0,6s$	—	—

Таблица III.2.3

Точность, достигаемая при пробивке на инструментальных штампах *

мм

Толщина материала	Размеры отверстий		
	до 10	св. 10 до 50	св. 50 до 100
0,2—1,0	0,06/0,02	0,08/0,04	0,1/0,08
Св. 1,0 до 4,0	0,08/0,03	0,1/0,06	0,12/0,1
Св. 4,0 до 10	0,1/0,06	0,12/0,1	0,14/0,15

* Значения в числителе относятся к штампам обычной точности, а в знаменателе — к штампам повышенной точности.

Размеры отверстий должны быть унифицированы. Допуск на пробиваемые отверстия должен быть таким, чтобы не вызывать значительного усложнения технологического процесса пробивки. В табл. III.2.3 указана точность отверстий, получаемая простыми вырубными штампами. Для получения более высокой точности необходимо применять сложные штампы с прижимом либо специальные штампы чистовой вырубки.

В табл. III.2.4 даны допуски для круглых отверстий, получаемых пробивкой, зачисткой и калибровкой. Для определения допуска на размеры фасонных контуров можно пользоваться данными табл. III.2.4, вводя поправочный коэффициент

$$\Delta_{\phi} = \Delta K,$$

где Δ_{ϕ} — допуск на размер фасонного контура;

Δ — допуск, взятый из табл. III.2.4;

K — поправочный коэффициент, зависящий от сложности контура, равный 1,2—1,5.

Таблица III.2.4

Допуски для пробивки и вырубки круглых контуров отверстий

мм

Толщина материала, мм	Группа точности	Класс точности	Номинальные диаметры											
			1—3	3—6	6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—260	260—360	360—500
			Наименьший допуск на вырубку круглых контуров и пробивку											
До 1	I	A ₃ /C ₃	0,04	0,048	0,058	0,070	0,084	0,100	0,120	0,140	0,160	0,185	0,215	0,250
	II	A ₄ /C ₄	0,06	0,080	0,100	0,120	0,140	0,170	0,200	0,230	0,260	0,300	0,340	0,380
	III	A ₅ /C ₅	0,12	0,160	0,200	0,240	0,280	0,340	0,400	0,460	0,530	0,600	0,680	0,760
	IV	A ₇ /C ₇	0,25	0,300	0,360	0,430	0,520	0,620	0,740	0,870	1,000	1,150	1,350	1,550
1—3	I	A ₄ /C ₄	—	0,080	0,100	0,120	0,140	0,170	0,200	0,230	0,260	0,300	0,340	0,380
	II	A ₅ /C ₅	—	0,160	0,200	0,240	0,280	0,340	0,400	0,460	0,530	0,600	0,680	0,760
	III	A ₇ /C ₇	—	0,300	0,360	0,430	0,520	0,620	0,740	0,870	1,000	1,150	1,350	1,580
	IV	A ₈ /C ₈	—	0,480	0,580	0,700	0,840	1,000	—	—	—	—	—	—
3—6	I	A ₄ /C ₄	—	—	0,100	0,120	0,140	0,170	0,200	0,230	0,260	0,300	0,340	0,380
	II	A ₅ /C ₅	—	—	0,200	0,240	0,280	0,340	0,400	0,460	0,530	0,600	0,680	0,760
	IV	A ₇ /C ₇	—	—	0,360	0,430	0,520	0,620	0,740	0,870	1,000	1,150	1,350	1,580
6—10	I	A ₅ /C ₅	—	—	—	0,240	0,280	0,340	0,400	0,460	0,530	0,600	0,680	0,760
	III	A ₇ /C ₇	—	—	—	0,430	0,520	0,620	0,740	0,870	1,000	1,150	1,350	1,580
	III	A ₈ /C ₈	—	—	—	—	0,840	1,000	1,200	1,400	1,600	1,900	2,200	2,500

Примечание. Группы точности обеспечиваются: I — зачистными и калибровочными штампами; II — совмещенными штампами с прижимом; III — простыми вырубными или пробивными штампами без прижима; IV — штампами последовательного действия.

Для отверстий берется допуск со знаком «+»; для наружных контуров — со знаком «-».

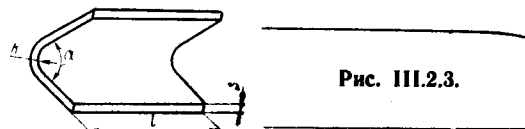
Таблица III.2.5

Минимальные размеры пробиваемых отверстий
в деталях из титановых сплавов
мм

s	h	l	d	R	r
до 2,5	$\geq 1,5s$	$\geq 3s$	—	—	$\geq 0,5s$
до 1,5	—	—	$\geq 3s$	$\geq 3s$	0,5s

РАДИУСЫ СГИБА

Минимальный радиус сгиба r_{\min} — внутренний радиус на детали (рис. III.2.3), определяет предельные возможности деформирования материала при свободной гибке. За минимальный радиус сгиба условились принимать тот наименьший радиус, при котором не наблюдается разрушения в поверхностном (наружном) слое заготовки.



Отверстия в листовых деталях из титановых сплавов (за исключением сборочных (СО), шпилечных (ШО) и направляющих (НО) отверстий и т. п.) всех толщин рекомендуется производить только пробивкой с прижимом по всему контуру в соответствии с ПИ-268—76. Конструктор должен иметь в виду, что при пробивке отверстий в материалах ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4-0 и ОТ4-1 толщиной свыше 3 мм, а в ОТ4, ВТ14, ВТ6С, ВТ5-1 и ВТ20 толщиной свыше 1,8 мм необходим технологический нагрев заготовок до 700°C; это повышает стоимость детали и усложняет процесс.

На рис. III.2.2 даны рекомендуемые формы вырубемых отверстий в деталях из титановых сплавов, а в табл. III.2.5 — их размеры. Сборочные, шпилечные и направляющие отверстия производить сверловкой. При этом возможно обеспечить следующую точность:

- отклонение по диаметру и эллиптичности отверстия в соответствии с 722АТ;
- смещение контрольных, базовых и сборочных отверстий до $\pm 0,2$ мм;
- смещение шпилечных отверстий до $\pm 0,5$ мм;
- смещение отверстий под приборы и разные окна до ± 1 мм.

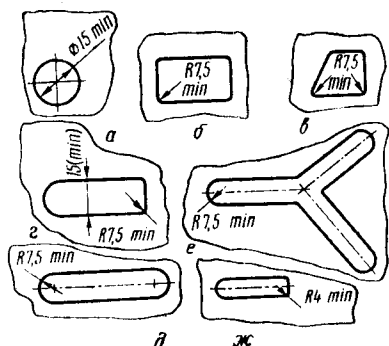


Рис. III.2.2. Минимальные размеры отверстий, фрезерованных на фрезерных станках с ЧПУ:
а — круглое отверстие;
б, д — прямоугольное отверстие;
в, г, е, ж — отверстия сложной формы.

Отверстия в листовых деталях, получаемые фрезерованием на станках с программным управлением (моделей РФП-1 и РФП-2), могут быть сложной формы. Наименьший их габаритный размер (рис. III.2.2, а) при записи программы по шаблону — 15 мм (так как минимальный диаметр пальца копировального прибора, применяемого при записи программы методом копирования по шаблону, равен 10 мм).

Отверстия на плоских деталях могут быть получены также по программе, записанной на интерполаторе по числовым данным чертежа. При этом минимальный диаметр отверстия равен 15 мм, а фигурные отверстия, получаемые фрезерованием, должны иметь $R_{\min}=4$ мм (см. рис. III.2.2, ж). Точность получаемых отверстий в деталях и их расположение относительно внешнего контура детали $\pm 0,25$ мм. Шероховатость поверхности кон-

тура отверстий при этом будет $Rz \sqrt{\quad} — Rz \sqrt{\quad}$ по ГОСТ 2789—73 ($\nabla 3^* — \nabla 4$).

* Пониженная шероховатость поверхности контура отверстия объясняется тем, что при выполнении отверстий в деталях фрезерование осуществляется против часовой стрелки.

Минимальный радиус r_{\min} зависит от напряженного состояния материала заготовки при деформировании, характеристик пластичности и анизотропии (то есть от марки и состояния материала), направления волокна, состояния кромки заготовки, толщины материала, что, согласно выражению $r_{\min} = \bar{r}_{\min} s$ (или $r_{\min} = i s$), учитывается относительным минимальным радиусом сгиба \bar{r}_{\min} или, по многим источникам, что то же самое, коэффициентом сгиба i . Детали, выполняемые с минимальными радиусами сгиба, считать нетехнологичными. Проектировать их следует в исключительных, экономически оправданных случаях, поскольку изготовление их требует введения дополнительных затрат на организацию и проведение пооперационного и окончательного контроля качества деталей*, а при гибке после окончательной термической обработки — на проведение экспериментов по определению надежности работы изделия или накоплению статистических сведений по этому вопросу.

Поэтому при проектировании деталей рационально закладывать в конструкцию радиусы сгиба не менее рабочего радиуса $r_{\text{раб}}$. Значение последнего выбирают больше минимального на одну толщину деформируемого материала: $r_{\text{раб}} = r_{\min} + 1s$, при этом анизотропию материала при гибке в зависимости от направления волокна учитывать не следует.

Размеры минимальных радиусов сгиба r_{\min} листовых алюминиевых, стальных и титановых материалов (толщиной до 4 мм) для свободной гибки и гибки с подчеканкой (при $\alpha=90^\circ$) приведены в табл. III.2.6, III.2.7, III.2.8. Предельные отклоне-

* При изготовлении деталей с минимальными радиусами необходимо иметь в виду возможный брак, который, согласно теории статистической обработки, определяется числом назначенной для экспериментов (при определении r_{\min}) выборки.

Минимальные радиусы сгиба листовых алюминиевых сплавов

Марка, состояние материала	Состояние материала кромки заготовки (в зоне сгиба)	Минимальный радиус сгиба $r_{\min} = \bar{r}_{\min} \cdot s$, мм ($\alpha = 90^\circ$) при гибке		Примечания*
		в холодную	в горячую	
АД1М АМцМ АМг1М	Ненагартованное (кромки зачищены, фрезерованы или подвергнуты смягчающей термообработке)	0,5s	—	Ненагартованное состояние материала кромки подразумевает, что оно не отличается от состояния материала заготовки (см. гр. 1), то есть в отличие от нагартованного состояния кромка не имеет дополнительной нагартовки после раскроя, что достигается опиловкой, фрезерованием или последующей смягчающей термической обработкой заготовки (отжигом, закалкой).
АМг2М АМг3М АК4-1АМ АК4-1чАМ Д16АМ Д16чАМ Д19АМ Д19чАМ 1201АМ	Ненагартованное	1s	—	
	Нагартованное (после раскроя на ножницах, в штампе)	3s	—	
АК4-1АТ (сз) АК4-1чАТ (сз) Д16АТ (сз) Д16чАТ (сз) Д19АТ (сз) Д19чАТ (сз) 1201АТ В95АМ	Ненагартованное	1,5s	—	Изготовление деталей (профилей и др.) с r_{\min} для ресурсных изделий не рекомендуется (деформация $\epsilon_{\text{ост}}$ ограничена $\epsilon_{\text{ост}} \leq \epsilon_{\text{доп}} \ll \epsilon_{\text{пред}}$) в состояниях Т(сз), Т для сплавов: а) АК4-1, АК4-1ч или (при $\epsilon_{\text{ост}} > \epsilon_{\text{доп}}$) следует учитывать падение служебных характеристик (см. ПИ-945-69) и режимы искусственного старения согласовывать с ВИАМ (для деталей с переменной степенью деформации от 0 до $\epsilon_{\text{ост}}$); б) Д16ч — при применении в конструкции в состоянии Т1 (см. ПИ-1.2.136-79); в) 1201 или режимы искусственного старения согласовывать с ВИАМ (детали с переменной деформацией от 0 до $\epsilon_{\text{ост}}$, см. ПИ-1.2.150-80)
	Нагартованное	4s	—	
АМг6М 1420Т 1201АТ (пр) В95АТ (сз)	Ненагартованное	2s	Для АМг6М, 1420Т — (0,5-1)s, для остальных — не рекомендуется	Гибка с нагревом: при $t_{\text{шт}} = 300-335^\circ\text{C}$ — для АМг6М; при $t_{\text{шт}} = 300-465^\circ\text{C}$ — для 1420Т, 1420ТГ. Деформирование с r_{\min} не рекомендуется ($\epsilon_{\text{ост}} \leq \epsilon_{\text{доп}} \ll \epsilon_{\text{пред}}$) для деталей ресурсных изделий в состояниях Т, Т(пр) для сплавов: а) 1420Т — на последнем переходе (без повторной закалки, см. ТР-1.4.467-78); б) 1201АТ(пр) или режимы искусственного старения согласовывать с ВИАМ (детали с переменной деформацией, см. ПИ-1.2.150-80)
	Нагартованное	Деформирование не рекомендуется		
1420Т (пр) 1420ТГ АК4-1АТ, АК4-1чАТ, Д16АТ, Д16чАТ, Д19АТ, Д19чАТ	Ненагартованное	2,5s	(0,5-1)s — для 1420ТГ, 1420Т(пр); для остальных — рационально	Изготовление деталей с r_{\min} для ресурсных изделий не рекомендуется для сплавов: а) АК4-1АТ, АК4-1чАТ (см. ПИ-945-69); б) Д16чАТ — при применении в конструкции в состоянии Т1 (см. ПИ-1.2.136-79); в) 1420Т(пр), 1420ТГ — на последнем переходе (без последующей закалки, см. ТР-1.4.467-78)
	Нагартованное	(5-6)s		
АД1Н	Ненагартованное (кромки зачищены, фрезерованы)	1s	—	

Марка, состояние материала	Состояние материала кромки заготовки (в зоне сгиба)	Минимальный радиус сгиба $r_{\min} = r_{\min} s$, мм ($\alpha = 90^\circ$) при гибке		Примечания*
		входную	вгорячую	
АМц1/2Н АМг21/2Н	Ненагартованное (кромки зачищены, фрезерованы)	2s	—	
АМцН АМг2Н АМг31/2Н	То же	4s	—	
АМг3Н	То же	6s	—	
<p>Условные обозначения:</p> <p>М — отожженное состояние; Т — состояние закаленное, при наличии старения — естественно состаренное; Т_(пр) — состояние поставки после закалки и правки; Т_(сз) — свежезакаленное состояние; ТГ — состояние, закаленное на воздухе; Т1 — искусственно состаренное состояние; 1/2Н — полугартованное состояние (в поставке); Н — нагартованное (поставка); ^{доп} — допустимая степень деформации; ^{пред} — предельная степень деформации.</p> <p>* Приведенные для отдельных сплавов ограничения следует учитывать при изготовлении деталей с другими элементами конструкции (при отбортовках, подсечках, рифтах и т. д.).</p>				

Таблица III.2.7

Минимальные радиусы сгиба листовых материалов из сталей

Марка материала	Состояние материала	Состояние материала кромок заготовки	Минимальный радиус сгиба $r_{\min} = r_{\min} s$, мм ($\alpha = 90^\circ$)	Примечание
СТ20	Отожженное	Ненагартованное (кромки зачищены или фрезерованы)	1s	Ненагартованное состояние кромок заготовки подразумевает, что материал по кромкам не имеет дополнительной (по отношению к основному материалу заготовки) нагартовки, возникающей в процессе раскроя на ножницах, в штампе
		Нагартованное (после раскроя на ножницах, в штампе)	2s	
30ХГСА	»	Ненагартованное	1s	
		Нагартованное	4s	
12Х18Н9Т (Х18Н9Т), 12Х18Н10Т (Х18Н10Т), 17Х18Н9 (2Х18Н9), 08Х18Н10 (0Х18Н10), 20Х13Н4Г9 (ЭИ100), 20Х23Н18 (ЭИ417), ХН38ВТ (ЭИ703), 12Х17Г9АН4 (ЭИ878)	Закаленное	Ненагартованное (кромки зачищены или фрезерованы)	1s	
	Нагартованное	То же	2s	
15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654)	Закаленное	»	1s	
07Х16Н6 (СН-2)	»		2s	
	Нагартованное		6s	
08Х17Н5М3 (СН-3, ЭИ925)	Закаленное		1,5s	
	Полугартованное		2,5s	
	Нагартованное		4s	
08Х15Н5Д2Т (ВНС-2, ЭП410)	Закаленное		3s	
	Закаленное и отпущенное (600 °С, 3 ч)		2s	

Таблица III.2.8

Минимальные радиусы сгиба листовых титановых сплавов

Марка сплава	Минимальный радиус сгиба $r_{\min} = r_{\min} s$, мм ($\alpha=90^\circ$) при гибке		Примечание
	вхолодную	вгорячую	
BT1-00 BT1-0	2,5s	—	Гибка с нагревом заготовки (вгорячую) при длине детали или ее развертки до 1200 мм
OT4-0, OT4-1	3s	—	
OT4	4s	—	
BT14 BT6 (BT6C)	6s	3s	
BT5-1 BT20	8s	4s	

ния минимальных радиусов сгиба следует задавать согласно нормам 722АТ.

При использовании сварной заготовки (например, длинномерных деталей) минимальный радиус сгиба увеличивается на одну толщину против указанного. Для деталей, изготавливаемых гибкой из химически фрезерованного материала, радиус сгиба следует увеличивать на одну-две толщины против табличных значений.

При необходимости возможно получение деталей с радиусами сгиба, меньшими указанных в таблицах для штамповки вхолодную, для чего штамповку следует осуществлять за несколько переходов с межоперационными смягчающими термообработками, или используя способ гибки с разгибкой (ПИ-1.4.097—77), или с нагревом заготовки. Однако изготовление таких деталей связано с усложнением технологии их производства, с увеличением цикла их изготовления, с повышением трудоемкости и стоимости детали, поэтому такие детали следует считать нетехнологичными.

Рекомендуемые длины листовых профилей ограничиваются, с одной стороны, размерами полуфабрикатов, с другой — при необходимости проведения последующей термообработки или нагрева заго-

Таблица III.2.9

Пружинение алюминиевых материалов при гибке с минимальными радиусами

Минимальный радиус $r_{\min} = r_{\min} s$, мм (согласно табл. III.2.6)	Угол пружинения $\Delta\alpha$, град.
0,5s	0—1,5
1s	0—2
1,5s	1—3
2s	3—6
2,5s	4—8

товки при штамповке — размерами рабочего пространства оборудования, что следует принимать во внимание при проектировании деталей.

При гибке, в основном за счет пружинения материала, возможно отклонение от заданного радиуса сгиба. Отклонение характеризуется углом пружинения и зависит от материала, его состояния, толщины и радиуса сгиба и может колебаться для одного и того же материала от поставки к поставке. При гибке на угол 90° с минимальными радиусами заготовки из алюминиевых материалов в различных состояниях (согласно табл. III.2.6) пружинение можно характеризовать величинами, приведенными в табл. III.2.9.

С увеличением радиуса сгиба для одного и того же материала пружинение увеличивается. Примерные значения углов пружинения при гибке вхолодную с радиусами сгиба $(2-10)s$ для алюминиевых материалов в отожженном состоянии и аустенитных сталей располагаются в пределах $2-8^\circ$, для сталей типа СН и ВНС-2 в пределах $4-11^\circ$ и $5-15^\circ$ соответственно, для низколегированных титановых сплавов $8-25^\circ$.

БОРТ

Борт — конструктивный элемент деталей из листа, представляющий собой их боковую часть, полученную свободной гибкой, или гибкой-вытяжкой в инструментальных жестких штампах, или гибкой-формовкой по формблокам с использованием в качестве универсального пуансона жидкостных и эластичных сред. Борт может быть образован по прямой, выпуклой или вогнутой стороне детали из листа.

Прямолинейный борт (рис. III.2.4) в случае гибки в жестких штампах должен иметь минимальную высоту H в соответствии с формулой $H_{\min} \geq s + r_{\text{раб}}$; соблюдение этого условия для листовых материалов толщиной до 5 мм обеспечивает достаточную точность.

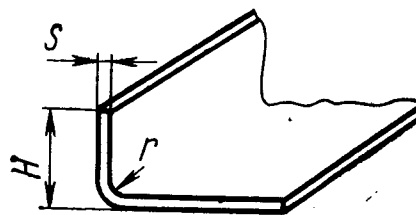


Рис. III.2.4.

Для получения бортов меньшей высоты производится их обрезка после гибки, что удлиняет технологический процесс изготовления детали и увеличивает ее стоимость. Борт такой высоты можно считать нетехнологичным.

Наименьшую высоту H борта деталей, штампуемых эластичной средой по формблокам, можно определить по формуле

$$H_{\min} = \sqrt{\frac{\sigma_b s^2}{2q}} + 4s \text{ мм},$$

где σ_b — предел прочности материала;

s — толщина материала;

q — удельное давление эластичной среды на заготовку.

В табл. III.2.10 приведены численные значения наименьших бортов для некоторых алюминиевых и магниевых сплавов при $r/s=3$ и углегиба 90° .

Для деталей из титановых сплавов высоту прямого борта рекомендуется проектировать не меньше $r_{\min} + 5S$.

Таблица III.2.10

Марка материала	Давление, кгс/см ²	Толщина материала, мм					
		0,5	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0
		Минимальная высота борта, мм					
Д16АМ	100	3,5	7,5	9,0	11,0	13,0	15,0
	300	3,0	6,0	7,0	9,0	11,0	12,0
	700	2,5	5,5	6,5	8,0	9,5	10,5
Д16АТ	100	5,0	9,0	11,0	14,0	16,0	18,0
	300	4,0	7,0	8,5	10,5	12,5	14,0
	700	3,0	6,0	7,0	9,0	10,5	12,0
АМг6М	100	4,5	8,5	10,0	12,5	14,5	17,0
	300	3,5	6,5	8,0	10,0	12,0	13,0
	700	3,0	6,0	7,0	8,5	10,0	11,5
МА8-8М	100	4,0	8,0	9,5	11,5	14,0	16,0
	300	3,0	6,0	7,5	9,5	11,0	12,5
	700	3,0	5,5	6,5	8,0	10,0	11,0

При гибке борта на выступающих участках (рис. III.2.5) линию сгиба располагать от края впадины на расстоянии $B > (r_{\text{раб}} + R)$.

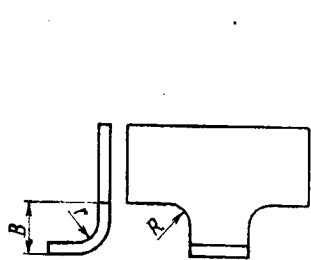


Рис. III.2.5.

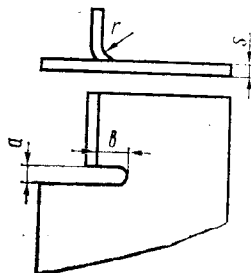


Рис. III.2.6.

При местной гибке (рис. III.2.6) зону деформации следует ограничивать местными вырезами, которые должны иметь глубину после гибки $b \geq r_{\text{раб}} + \frac{a}{2}$ и ширину $a \geq 2S$. Внутренний радиус сгиба при образовании борта должен удовлетворять требованиям табл. III.2.6, III.2.7; длину развертки l_p согнутых листовых деталей (рис. III.2.7) определять по формуле

$$l_p = l_1 + l_2 + \pi(r + K_r \cdot s) \frac{180 - \alpha}{180},$$

где l_1 и l_2 — длины прямолинейных участков;

K_r — коэффициент, учитывающий смещение нейтрального слоя, K_r практически не зависит от марки и состояния материала, ширины заготовки, если последняя больше трех толщин, и углагиба, если $\alpha \geq 60^\circ$.

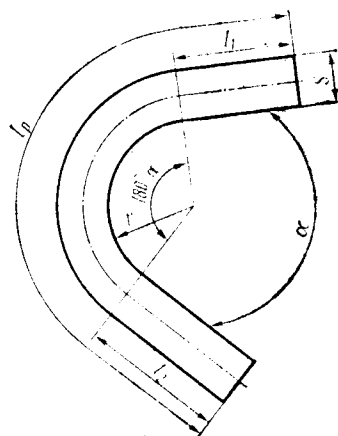


Рис. III.2.7.

Значения коэффициента K_r в зависимости от отношения $\frac{r}{s}$ приведены в табл. III.2.11.

Таблица III.2.11

Коэффициент K_r для различных r/s

r/s	K_r	r/s	K_r	r/s	K_r
0,1	0,32	0,7	0,40	3,0	0,46
0,2	0,34	0,8	0,41	4,0—5,0	0,47
0,3	0,35	1,0	0,42	6,0—7,0	0,48
0,4	0,37	1,2	0,43	8,0—9,0	0,49
0,5	0,38	1,5	0,44	10,0 и более	0,50
0,6	0,39	2,0	0,45		

Криволинейный борт на деталях с плоскими стенками (рис. III.2.8) из алюминиевых и магниевых сплавов и сталей с $\sigma_v \leq 95$ кгс/мм² (~ 950 МПа) рекомендуется формовать гибкой-формовкой эластичными средами на гидропрессах, гидродинамических молотах, электрогидравлических прессах. Формообразование криволинейных бортов на деталях из материалов с $\sigma_v \geq 95$ кгс/мм² (~ 950 МПа) следует осуществлять в инструментальных штампах на прессах или листоштамповочных молотах с нагретом.

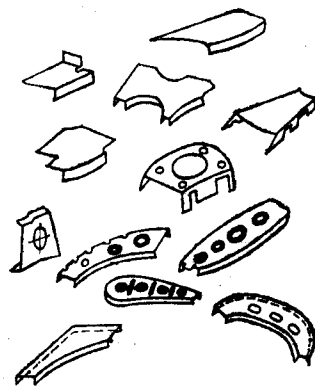


Рис. III.2.8. Типовые детали с криволинейными бортами.

Выпуклый борт при штамповке в инструментальных штампах может иметь предельную высоту, определяемую степенью вытяжки, предельную величину которой устанавливать по табл. III.2.12. При этом с увеличением высоты борта (степени вытяжки) усложняется конструкция штампа, возникает необходимость применения прижимных элементов, требуется дополнительная операция по обрезке технологического припуска, увеличиваются размеры заготовки.

Таблица III.2.12

Степень вытяжки	Вид борта	Характеристика штампа	Условная стоимость штампа
$\leq 1,08$ $\leq 1,15$	Осесимметричный Неосесимметричный	Упрощенный штамп гибочный без прижима фланца	1
$\leq 1,6$ $\leq 2,6$	Осесимметричный Неосесимметричный	Инструментальный штамп с конусным прижимом	2
$\leq 2,2-2,4$ $\leq 4-5$	Осесимметричный Неосесимметричный	Сложный инструментальный штамп с прижимом и выталкивателем	10

При конструировании деталей с выпуклыми бортами большой высоты для алюминиевых сплавов необходимо также иметь в виду, что использование инструментальных штампов может вызывать снятие лакированного слоя. Экономически оправдано их применение в условиях крупносерийного производства деталей из стали.

Предельные высоты выпуклого борта при штамповке эластичными средами на упрощенной оснастке (формблоке) определяются потерей устойчивости. Высота борта зависит от твердости и давления резины, материала и толщины заготовки. В табл. III.2.13 приведены значения высоты бортов при малке для наиболее распространенных в серийном производстве деталей из алюминиевых, титановых сплавов и сталей. Данные таблицы составлены для холодной штамповки давлением эластичной среды от 40 до 100 МПа (от 400 до

1000 кгс/см²) и соответствуют углу охвата 120°. Для углов охвата более 120° значения предельной высоты борта уменьшаются, менее 120° — увеличиваются.

Ориентировочно предельный коэффициент бездоходочной гибки выпуклых бортов для различных групп сплавов составляет:

— для алюминиевых сплавов (в пределах $\frac{H}{s}$ от 5 до 14) 0,1—0,15;

— для сталей и сплава В95М (в пределах $\frac{H}{s}$ от 6 до 20) 0,025—0,05;

— для титановых сплавов и сталей типа 08Х15Н5 Д2Т (ВНС-2) (в пределах $\frac{H}{s}$ от 7 до 20) 0,01—0,015.

Если необходимо спроектировать выпуклый борт с соотношением $\frac{H}{R}$, большим, чем это рекомендует-ся в табл. III.2.13, то применяют фестоны прорезные (нормаль 158СТ54) или глухие (нормаль 159СТ54) (рис. III.2.9).

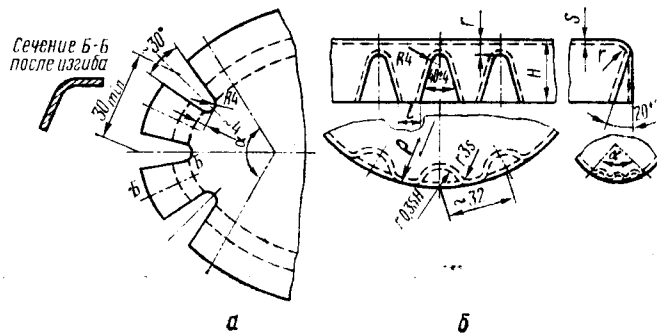


Рис. III.2.9. Криволинейный борт с фестонами: а — прорезными; б — глухими.

Таблица III.2.13

Наибольшая высота выпуклых бортов при штамповке бездоходочной эластичной средой давлением от 40 до 100 МПа (от 400 до 1000 кгс/см²)

мм

Марка материала	Толщина материала	Высота H при радиусе R выпуклого борта									Примечание
		50	100	200	500	1000	1500	2000	2500	3000	
Д16АМ	0,5	6,0	9,0	11,0	14,0	17,0	21,0	24,0	26,0	28,0	
Д19АМ	1,0	7,5	12,0	17,0	22,0	28,0	31,0	34,5	36,0	39,5	
В95АМ	1,5	—	13,5	21,5	29,0	36,5	42,0	45,5	47,5	50,5	
Х18Н10Т	2,0	—	14,5	23,0	35,0	43,0	49,5	55,0	58,5	62,0	
	2,5	—	—	24,0	40,5	50,5	57,5	63,0	68,0	73,0	
	3,0	—	—	26,5	46,5	57,0	64,5	71,5	76,0	83,0	Данные значения высот ориентировочно можно принять при штамповке титановых сплавов с подогревом
СН-3	0,5	—	4,0	6,5	12,0	16,0	18,0	20,0	22,0	23,0	
30ХГСА	1,0	—	—	8,0	15,5	23,5	26,5	29,0	31,0	31,0	
СН-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
СН-2а	1,5	—	—	—	17,5	27,5	33,0	38,0	40,5	41,0	
ЭИ962	2,0	—	—	—	18,5	29,0	39,5	46,0	49,5	52,0	
ЭИ473Б1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
СН-4	2,5	—	—	—	19,0	30,5	42,5	51,5	57,0	61,5	
ЭИ696М	3,0	—	—	—	22,0	34,0	44,0	54,0	63,5	69,0	
ВТ6с	0,5	—	—	—	6,5	9,5	11,0	12,5	14,0	15,0	
ВТ15	1,0	—	—	—	—	13,0	17,5	18,5	20,0	21,5	
ВТ14	1,5	—	—	—	—	14,5	19,5	23,5	26,0	28,0	
ВТ20	2,0	—	—	—	—	—	21,5	25,5	29,5	34,0	
ВТ1-0	2,5	—	—	—	—	—	—	27,5	32,0	36,5	
ОТ4-1	3,0	—	—	—	—	—	—	29,0	33,0	38,0	

Таблица III.2.15

Детали с выпуклым бортом, формованным из точных заготовок гидроэластичной средой по форм-блокам с прижимными опорами, требуют доводочной обрезки борта в размер на участках с большей степенью вытяжки (участок, описанный радиусами R , см. рис. III.2.9, б). Степень вытяжки выпуклого борта с открытой (+) и закрытой (−) малкой может быть вычислена по формуле

$$K_s = \frac{R_s}{R \pm h \operatorname{tg} \beta},$$

где R_s — радиус заготовки;
 R — радиус формблока по ШВК;
 h — высота борта;
 β — угол малки.

Предельные значения высот выпуклых бортов, получаемых вытяжкой с применением прижимных опор, приведены в табл. III.2.14.

Предельные значения высот выпуклых бортов, штампуемых резиной (по схеме свободной гибки), больше приведенных в табл. III.2.14, устанавливать по табл. III.2.15 или ОСТ 1.41521–75. При этом применяется несколько усложненная, по сравнению со свободной гибкой эластичными средами, оснастка (прижимная опора), проектирование которой выполнять по ОСТ 1.51813–75. Детали, штампуемые с применением прижимных опор из точных заготовок (без припусков) по ШЗ или ШР, требуют обрезки борта на участках с наибольшей степенью вытяжки (участок R на рис. III.2.9, б).

Таблица III.2.14

Наибольшая высота выпуклых бортов деталей из титановых сплавов ВТ1, ОТ4-1, ОТ4, штампуемых резиной с последующей доводкой ($q \geq 60$ МПа)

мм

Радиус выпуклого борта	Высота борта при толщине материала					
	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0
100	13	14	15	—	—	—
200	17	18	20	22	24	26
300	22	24	26	28	30	34
500	30	34	38	42	48	58
1000	40	45	55	65	75	85

Вогнутый борт может иметь предельную высоту, определяемую разрывом материала (растрескиванием) или для относительно тонких листовых материалов потерей устойчивости борта после снятия нагрузки.

Толщина кромки s_i криволинейного борта после формообразования приблизительно определяется по формулам:

для выпуклого борта

$$s_i = \alpha_{\text{вып}} S;$$

для вогнутого борта

$$s_i = \alpha_{\text{вог}} S.$$

Марка материала заготовки	Наибольшая степень вытяжки K_s (при $s/B > 0,025$)	
	для неосесимметричных деталей с плоскими стенками (типа нервюр, уголков, коробок) при $30^\circ < \varphi \leq 150^\circ$	для деталей типа полупатрубок, днищ, а также осесимметричных деталей с плоскими стенками, включая углы $\varphi > 150^\circ$
АМцАМ	3,0–2,9	2,2–2,1
Д16М, Д19М В95М, АМг2М	2,8–2,6	2,1–1,9
АМг3М, АМг4М	2,4–2,2	1,9–1,7
АМг5М, АМг6М (СН-3М), ОТ4-1, (Х18Н10Т), 12Х18Н10Т, 08Х17Н5М3	2,0–1,8	1,7–1,6

Значения коэффициентов $\alpha_{\text{вып}}$ и $\alpha_{\text{вог}}$ в зависимости от отношения $\frac{H}{R}$ брать из табл. III.2.16.

Таблица III.2.16

$\frac{H}{R}$	$\alpha_{\text{вог}}$	$\alpha_{\text{вып}}$	$\frac{H}{R}$	$\alpha_{\text{вог}}$	$\alpha_{\text{вып}}$
0,02	—	1,009	0,22	0,895	1,091
0,04	0,978	1,010	0,24	0,842	1,087
0,06	0,968	1,028	0,26	0,824	1,098
0,08	0,956	1,037	0,28	0,806	1,109
0,10	0,944	1,045	0,30	0,786	1,116
0,12	0,931	1,058	0,32	0,765	1,121
0,14	0,918	1,061	0,34	0,742	1,127
0,16	0,904	1,069	0,36	0,719	1,128
0,18	0,890	1,076	0,40	0,667	1,148
0,20	0,875	1,089	—	—	—

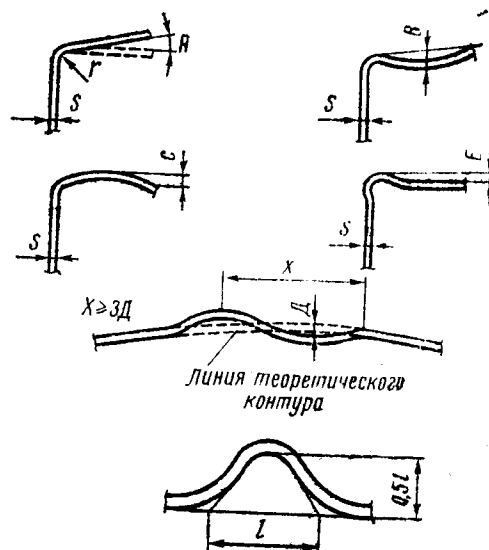


Рис. III.2.10. Возможные дефекты при образовании бортов.

В табл. III.2.17 приведены значения предельных высот вогнутых бортов при штамповке эластичными средами давлением 8–10 МПа (80–100 кгс/см²), а в табл. III.2.18 — давлением 40–100 МПа (400–1000 кгс/см²).

Пружинение материалов при гибке бортов определяется ОСТ 1.41521–75; при минимальном радиусе сгиба пружинение составляет: для алюминиевых сплавов 2–4°; для нержавеющей сталей 4–6°; для титановых сплавов в холодном состоя-

нии 7–15°; для титановых сплавов в горячем состоянии 3–8°.

Характер возможных дефектов при образовании бортов указан на рис. III.2.10, где внизу приведена геометрия гофра, предельная для ручной посадки.

После формообразования криволинейных бортов их кромки несколько утолщаются (выпуклый борт) либо утоняются (вогнутый борт).

Наибольшая высота вогнутых бортов при штамповке эластичной средой удельным давлением 8–10 МПа (80–100 кгс/см²)

Допуск	Материал																	Высота борта Н
	Д16АМ и МА8-М									АМцАМ и АМгМ								
	Толщина s																	
	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	
	Радиус сгиба R																	
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	6,0	7,5	9	1,5	2,0	3,0	3,5	4,5	6,0	7,5	9	
Радиус вогнутого борта R _г																		
Для деталей с незачищенными кромками																		
±0,5	60	60	50	50	—	—	—	—	—	30	30	20	—	—	—	—	—	4
±0,5	90	90	80	80	80	—	—	—	—	50	50	50	—	—	—	—	—	6
±1,0	120	110	100	100	90	80	—	—	—	80	75	70	65	60	—	—	—	8
±1,0	150	140	130	120	110	90	—	—	—	100	90	80	70	65	—	—	—	10
±1,0	170	160	150	140	130	110	100	—	—	120	105	95	85	75	—	—	—	12
±1,0	210	200	180	170	160	140	140	—	—	140	120	105	100	90	85	—	—	15
±1,0	260	250	230	220	210	200	190	—	—	180	150	140	130	115	100	—	—	20
±1,0	330	310	290	280	270	260	250	250	—	260	230	200	170	140	130	120	110	25
±1,5	450	430	400	360	350	330	320	320	—	340	300	270	240	180	170	160	150	30
±1,5	700	670	630	600	570	550	520	500	500	500	460	430	400	360	340	320	300	40
Для деталей с зачищенными кромками																		
±0,5	20	—	—	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	3
±0,5	30	25	—	—	—	—	—	—	—	20	15	—	—	—	—	—	—	4
±0,5	40	35	30	—	—	—	—	—	—	25	20	20	—	—	—	—	—	5
±0,5	55	50	45	40	—	—	—	—	—	35	30	30	25	—	—	—	—	6
±0,5	70	60	55	50	45	—	—	—	—	40	35	35	30	30	—	—	—	8
±0,5	80	70	60	55	55	55	—	—	—	50	40	40	35	35	35	—	—	10
±0,5	90	80	75	70	70	70	70	—	—	60	50	50	45	45	45	40	40	12
±0,5	110	100	90	85	80	80	80	80	—	70	60	60	55	55	55	55	55	15
±1,0	140	130	120	120	115	110	110	110	110	90	85	80	75	70	70	70	70	20
±1,0	170	165	150	140	135	130	130	130	130	130	120	110	100	90	90	90	90	25
±1,0	240	230	220	220	220	200	190	180	180	200	160	140	130	120	120	120	120	30
±1,0	400	400	380	360	340	320	300	300	300	300	280	260	240	220	210	200	200	40

Таблица III.2.18

Наибольшая высота вогнутых бортов при безводочной штамповке эластичной средой давлением от 40 до 100 МПа (от 400 до 1000 кгс/см²)

Марка материала	Толщина материала	Высота Н при радиусе R вогнутого борта								
		50	100	200	500	1000	1500	2000	2500	3000
Д16АМ	0,5	18,0	24,0	25,0	26,0	32,0	36,0	40,0	44,0	47,0
Д19АМ	1,0	22,0	42,0	42,0	42,5	46,0	53,0	58,0	62,0	67,0
Д95АМ	1,5	23,5	45,0	45,0	45,5	48,5	56,0	61,0	65,0	70,0
	2,0	—	45,0	44,0	44,0	45,0	50,0	55,0	59,0	63,0
	2,5	—	45,0	44,0	44,0	45,0	50,0	55,0	59,0	63,0
	3,0	—	45,0	44,0	44,0	45,0	50,0	55,0	59,0	63,0
СН-3	0,5	18,0	18,0	18,0	20,0	25,0	28,0	32,0	33,5	36,0
Х18Н10Т	1,0	31,5	31,5	31,5	31,5	35,0	40,5	44,0	47,0	51,0
ЭИ962	1,0	31,5	31,5	31,5	31,5	35,0	40,5	44,0	47,0	51,0

Продолжение

Марка материала	Толщина материала	Высота Н при радиусе R вогнутого борта								
		50	100	200	500	1000	1500	2000	2500	3000
СН-2	1,5	34,5	47,0	47,0	47,0	47,0	52,5	58,5	62,5	66,0
СН-2А	2,0	—	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0	70,0	76,0	81,0
ЭИ696	2,5	—	67,5	79,0	79,0	79,0	79,0	82,5	87,0	94,5
СН-4	3,0	—	69,0	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5	100,0	105,0
ЭИ437Б1	0,5	10,0	10,0	10,0	12,0	15,0	17,0	19,0	20,5	22,0
ОТ4-1	1,0	—	17,5	17,5	17,5	22,0	25,0	27,5	30,0	31,0
ВТ1-0	1,5	—	26,0	26,0	26,0	28,5	33,0	36,5	39,0	41,5
ВТ6с	2,0	—	—	35,0	35,0	35,0	40,0	40,0	48,0	50,0
ВТ15	2,5	—	—	43,5	43,5	43,5	45,0	51,0	55,0	58,5
ВТ14	3,0	—	—	52,5	52,5	52,5	52,5	57,0	63,0	66,0
ВТ20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ОТ4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ВТ5-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ОТБОРТОVKИ

Отбортовки — конструктивный элемент листовых деталей, делятся на отбортовки отверстий и отбортовки глухие.

Отбортовки отверстий предназначены для повышения жесткости их кромок и уменьшения деформации поверхности листовых деталей (повышение стойкости к восприятию нагрузок, действующих в плоскости, перпендикулярной к поверхности детали). Глухие отбортовки предназначены для повышения жесткости листовых деталей и для устранения неровностей листов.

При проектировании деталей из алюминиевых сплавов с отбортовками рекомендуется:

— размеры и форму отборонок отверстий круглой формы выбирать по ГОСТ 1.7040—80:

отбортовки под углом 90° (рис. III.2.11, табл. III.2.19);

отбортовки под углом 60° (рис. III.2.12, табл. III.2.20);

отбортовки тарельчатые под углом 60° (рис. III.2.13, табл. III.2.21);

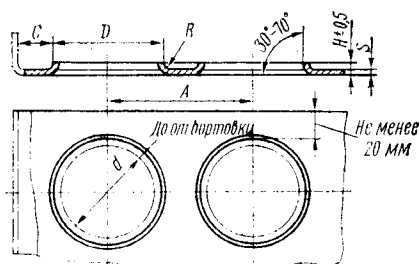


Рис. III.2.11. Отверстия с прямыми отбортовками (t — минимальный шаг).

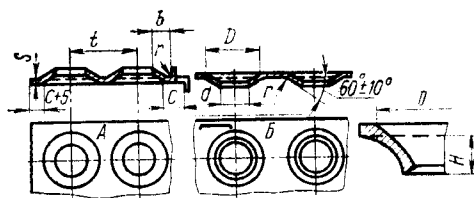


Рис. III.2.12. Отверстия с отбортовками под углом 60° .

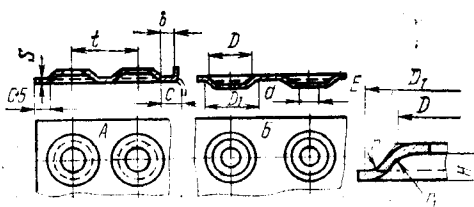


Рис. III.2.13. Отверстия с отбортовками под углом 45° .

отбортовки глухие под углом 45° (рис. III.2.14, табл. III.2.22);

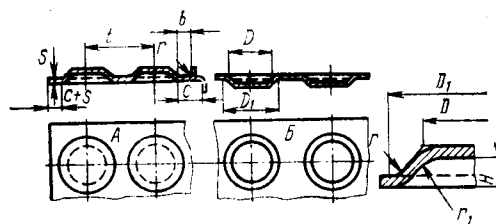


Рис. III.2.14. Глухие отбортовки.

— размеры отборонок в деталях из титановых сплавов и высокопрочных сталей выбирать по ГОСТ 17040—71, но штамповать:

а) в инструментальных штампах;

б) резиной давлением до 40 МПа (400 кгс/см²) с жесткими накладками (для увеличения местного давления);

в) резиной давлением 50—100 МПа (500—1000 кгс/см²) без жестких накладок;

— размеры отборонок двойной кривизны отверстий облегчения выбирать по ОСТ 1.41816—78.

Отбортовки, выходящие за пределы, предусмотренные нормами, проектировать с учетом коэффициента отбортовки K_0 , допускаемого для данного материала, $K_0 = \frac{D}{d}$ (d , D — диаметры отверстия до и после отбортовки) (рис. III.2.15).

Значение d определяется из выражения

$$d = D_1 - \left[\pi \left(r - \frac{s}{2} \right) + 2h \right],$$

где $D_1 = D + s + 2r$;

высота отбортовки

$$H = \frac{D-d}{2} + 0,43r + 0,72s;$$

радиусы R сопряжения сторон отборонок, имеющих в плане фигурное очертание (рис. III.2.16), выбирать из условий допускаемого коэффициента отбортовки $K_0 = R/r$, где r — радиус сопряжения сторон отверстия в заготовке до отбортовки.

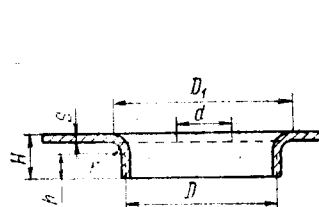


Рис. III.2.15.

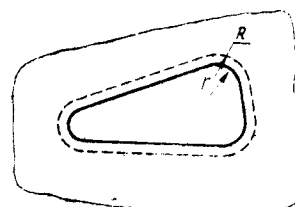


Рис. III.2.16.

Значение K_0 в зависимости от относительной толщины детали определять по табл. III.2.23.

Таблица III.2.19

Размеры отбортовок под углом 90° для круглых отверстий

мм

D	d	s								A не менее	s								A не менее
		0,5		0,6		0,8		1,0			1,2		1,5		1,8		2,0		
		R	h	R	h	R	h	R	h		R	h	R	h	R	h	R	h	
5	3,5		1,5							15									15
6	4,5									15									
8	5,5									20									
10	7,5	0,5	2,0							20									
12	9,0									22									
16	12,0		2,5						3,5	30									20
20	15,0	1,0	3,0					2,5	4,0	40	3,0	4,0	3,5	4,0					30
25	20,0																		40
30	25,0																		45
35	30,0		4,0		4,0			4,0	4,0	50	4,0	4,0	4,0	4,0					50
40	35,0					3,0		3,0		55									55
45	40,0									60									60
53	45,0	3,0		3,0						70									75
58	50,0		5,5		5,5		5,5		5,5	75		7,0		7,0		7,0		7,0	80
63	55,0									85									90
70	60,0									90	6,0		6,0		6,0		6,0		95
75	65,0		6,0		6,0	4,0	7,0	4,0	7,0	95		8,0		8,0		8,0		8,0	100
80	70,0									100									105
90	80,0									110									115
100	90						7,0	4,0	7,0	120		8,0		8,0		8,0		8,0	125
115	100																		140
125	110																		150
135	120										6,0		6,0		6,0		6,0		160
155	140											10,5		10,5		10,5		10,5	185
175	160																		205
195	180																		230
215	200																		250

Таблица III.2.20

Размеры отбортовок под углом 60° для круглых отверстий (по ГОСТ 17040—80)

мм

d	D	h	t не менее	b не менее	C не менее	s									
						0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5
20	28	3,5	43	10	15										
25	33	3,5	48	10	15										
30	38	3,5	53	10	15										
35	43	3,5	58	10	15										
40	48	3,5	63	10	15										
45	56	5,0	71	10	15										
50	61	5,0	76	10	15										
55	66	5,0	86	15	25										
60	74	6,0	94	15	25										
65	79	6,0	99	15	25										
70	87	7,0	107	15	25										
80	97	7,0	117	15	25										
90	107	7,0	127	15	25										
100	122	9,0	142	20	35										
110	132	9,0	157	20	35										
120	142	9,0	167	20	35										
140	162	9,0	187	20	35										
160	182	10,0	207	20	35										
180	202	10,0	227	25	40										
200	222	10,0	247	25	40										
r						1	2	2	3	3	4	5	6	6	8

Примечание. Применение отбортовок под углом 60° вне выделенной области допускается без ссылки на ГОСТ 17040—80.

Таблица III.2.21

Размеры тарельчатых отбортовок под углом 60° для круглых отверстий (по ГОСТ 17040—80)

мм

d до отбор- товки	d после отбор- товки	D	D_1	t не менее	h	r	(b) не менее	(C) не менее	s								
									0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0
15	16	18	22	28	2	1,0	10	15									
20	21	24	28	33	2	1,0	10	15									
25	26	31	37	43	3	1,5	10	15									
30	32	36	42	48	3	1,5	10	15									
35	37	43	51	58	4	2,0	10	15									
40	42	48	56	63	4	2,0	10	15									
45	47	55	65	74	5	2,5	10	15									
50	53	60	70	80	5	2,5	10	15									
55	58	65	75	85	5	2,5	15	25									
60	63	72	84	96	6	3,0	15	25									
65	68	77	89	103	6	3,0	15	25									
70	74	82	94	110	6	3,0	15	25									
80	84	94	108	128	7	5,5	15	25									
90	94	106	122	145	8	4,0	15	25									
100	105	116	132	155	8	4,0	20	35									
110	115	128	146	169	9	4,5	20	35									
120	125	140	160	183	10	5,0	20	35									
140	146	162	184	210	11	5,5	20	35									
160	166	184	208	234	14	7,0	20	35									
180	187	208	236	262	14	7,0	20	35									
200	208	230	260	286	15	7,5	20	35									
$r(r_1)$									1	2	2	3	3	4	5	6	6
$r(r_2)$									2	3	4	5	6	7	9	11	12

Примечание. Применение тарельчатых отбортовок вне выделенной области допускается без ссылки на ГОСТ 17040—80.

Таблица III.2.22

Размеры глухих отбортовок под углом 45° для круглых отверстий (по ГОСТ 17040—80)

мм

D	D ₁	t не менее	h	r	(b) не менее	(C) не менее	s							
							0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
5	12,0	18	2,0	1,0	6	6								
6	13,5	20	2,0	1,0	6	6								
8	16,0	22	2,0	1,0	6	6								
10	18,0	24	2,0	1,0	6	6								
12	20,0	28	2,0	1,0	6	6								
15	19,0	26	2,0	1,0	6	6								
18	22,0	28	2,0	1,0	6	6								
24	28,0	33	2,0	1,0	6	6								
31	37,0	43	3,0	1,5	10	10								
36	42,0	48	3,0	1,5	10	10								
43	51,0	58	4,0	2,0	10	15								
48	56,0	63	4,0	2,0	10	15								
55	65,0	74	5,0	2,5	15	25								
60	70,0	80	5,0	2,5	15	25								
65	75,0	85	5,0	2,5	15	25								
72	84,0	96	6,0	3,0	15	25								
77	89,0	103	6,0	3,0	20	35								
82	94,0	110	6,0	3,0	20	35								
94	108	128	7,0	3,5	20	35								
106	122	145	8,0	4,0	20	35								
116	132	155	8,0	4,0	20	35								
128	146	169	9,0	4,5	20	35								

D	D ₁	t не менее	h	r	(b) не менее	(C) не менее	s							
							0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
140	160	183	10,0	5,0	25	40								
162	184	210	11,0	5,5	25	40								
184	208	234	12,0	6,0	25	40								
208	236	262	14,0	7,0	25	40								
230	260	286	15,0	7,5	25	40								
(r ₁)							1	2	2	2	3	4	5	6
(r ₂)							3	5	6	7	9	11	14	16

Примечания:

1. Размеры в скобках (b), (C), (r₁), (r₂) относятся к отбортовкам, получаемым штамповкой резиной.
2. Применение глухих отбортовок вне выделенной области допускается без ссылки на ГОСТ 17040—80.

Таблица III.2.23

Материал	Коэффициент отбортовки K ₀ (%) при относительной толщине s/d									
	2	3	5	8	10	12	15	20	30	
12X18H10T, 15X18H12C4T	1,53	2,08	2,38	2,50	2,50	2,50	2,63	2,72	2,72	
Ст. 10	1,19	1,58	1,85	1,92	1,92	1,92	2,00	2,08	2,12	
Ст. 20	1,19	1,58	1,85	1,92	1,92	1,92	2,00	2,08	2,12	
Д16М	1,19	1,58	1,85	1,92	1,92	1,92	2,00	2,08	2,12	
В95М	1,19	1,58	1,85	1,92	1,92	1,92	2,00	2,08	2,12	
АМг6	1,19	1,58	1,85	1,92	1,92	1,92	2,00	2,08	2,12	

Значения K₀ для титановых сплавов приведены в табл. III.2.23а.

Отбортовка отверстий двойной кривизны (рис. III.2.17) обеспечивает наибольшую жесткость по сравнению с отбортовками, приведенными на рис. III.2.11—III.2.13.

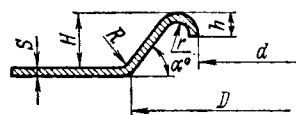


Рис. III.2.17.

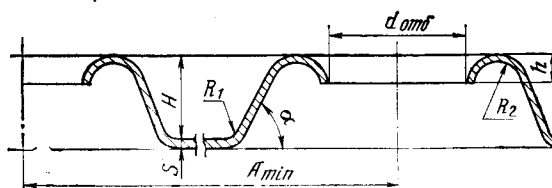
В табл. III.2.24 приведены размеры отбортовок двойной кривизны для деталей из алюминиевых сплавов.

Таблица III.2.23, а

Значения K₀ для титановых сплавов (инструкция ВИАМ № 642—71)

Марка сплава и состояние материала	Коэффициент отбортовки (%) в зависимости от толщины материала, мм							
	0,3—0,7	0,8—1,5	1,6—3,0	св. 3,0	0,3—0,7	0,6—1,5	1,6—3,0	св. 3,0
	В холодном состоянии				В горячем состоянии			
BT1-100, BT1-0	1,4—1,7	1,75—1,8	1,5—1,7	1,5				
OT4-0	1,4—1,65	1,7—1,75	1,5—1,6	1,5	1,6—1,75	1,8	1,6—1,8	1,6
OT4-1	1,35—1,5	1,6—1,7	1,45—1,55	1,4				
OT4	1,3—1,4	1,5—1,6	1,35—1,5	1,35	1,5—1,7	1,75—1,9	1,6—1,75	1,5
BT4	1,2—1,3	1,4—1,5	1,3—1,4	1,3	1,45—1,65	1,7—1,8	1,5—1,65	1,5
BT5-1	1,2—1,3	1,4—1,5	1,2—1,3	—	1,4—1,6	1,7—1,75	1,5—1,6	1,45
OT4-2	—	1,2—1,3	—	—	1,3—1,5	1,6—1,7	1,45—1,55	1,4
OT6с	—	1,4—1,5	1,3—1,4	—	1,3—1,4	1,6—1,75	1,45—1,6	1,4
BT14, отожженный	—	1,4—1,5	1,3—1,4	—	—	1,6—1,7	1,4—1,6	1,4
BT14, закаленный	—	1,5—1,6	1,4—1,5	—	—	—	—	—
BT15, отожженный	—	1,4—1,5	1,3—1,4	—	—	1,6—1,7	1,4—1,6	1,4
BT15, закаленный	—	1,5—1,6	1,4—1,5	—	—	—	—	—
BT20	—	1,25—1,35	1,2—1,3	—	—	1,5—1,6	1,6—1,7	—
BT23, отожженный	—	1,5—1,6	1,6—1,7	—	—	1,7—1,8	1,8—1,9	—
BT23, закаленный	—	1,4—1,5	1,5—1,6	—	—	—	—	—

Размеры отбортовок двойной кривизны (ОСТ 1.41816—78)



мм

$d_{отб}$	$*d_{отб} (h_{min})$		H	$*h_{min}$	$*h_{max}$	A_{min}	s									
	$\alpha = 54^\circ$	$\alpha = 90^\circ$					0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0
30	24,0	24,5	5,7	2,2	5,7	68										
35	29,0	29,5	5,7	2,2	5,7	78										
40	35,0	35,5	5,7	2,2	5,7	83										
45	40,0	40,5	5,7	2,2	5,7	94										
50	45,5	45,0	5,7	2,2	5,7	100										
55	50,5	51,0	5,7	2,2	5,7	105	Область применения									
60	52,0	53,0	8,0	3,0	8,0	116										
65	57,5	58,0	8,0	3,0	8,0	123										
70	62,5	63,5	8,0	3,0	8,0	130										
80	73,0	74,0	8,0	3,0	8,0	148										
90	80,5	78,5	9,0	5,0	9,0	165										
100	91,5	89,0	9,0	5,0	9,0	175										
110	102,0	99,5	9,0	5,0	9,0	189										
120	104,0	—	12,0	5,0	12,0	203										
140	123,0	—	12,0	6,0	12,0	230										
160	144,0	—	12,0	6,0	12,0	254										
180	165,0	—	12,0	6,0	12,0	282										
200	185,0	—	12,0	6,0	12,0	306										
R_{1min}							5s	3s	3s	3s	3s	3s	3s	3s	3s	3s
R_{2min}							5s	3s	3s	3s	3s	3s	3s	3s	3s	3s

* Размеры для справки.

РИФТЫ

Применяются рифты с полукруглым (рис. III.2.18, б), трапецидальным (рис. III.2.18, в) и синусоидальным (рис. III.2.18, г) профилем поперечного сечения.

Законцовки рифтов могут быть округленными, прямыми и срезанными наклонно по плоскости.

Геометрию элементов рифтов профиля в листовых деталях из алюминиевых, титановых сплавов и сталей выполнять по ГОСТ 17040—80, разработанному для алюминиевых и магниевых сплавов. В табл. III.2.25 приведены эти данные для рифтов полукруглого профиля с округленной законцовкой, при этом радиус законцовки можно уменьшить до значений, указанных в скобках для каждого номера рифта.

Длина рифта и радиус r сопряжения сторон рифта не нормализуются.

При выполнении рифтов по ГОСТ 17040—80 утонение материала в зоне рифта не более 20%. При необходимости получения рифтов полукруглого профиля, отличных по размерам от рифтов по ГОСТ 17040—80, руководствоваться соотношением между глубиной рифта H и шириной B_1 (см. рис. III.2.19, д), которое должно быть меньше или равно 0,5.

Соотношение между длиной развертки L и шириной B трапецевидных рифтов

Марка материала	Д16М	АМцАМ	В95М	АМг6М	Д19М	12Х18Н10Т	15Х18Н12С4Т10	07Х16Н6	08Х15Н5Д2Т	0Х20Н6МД2П
$\frac{L}{B}$	1,17	1,23	1,15	1,15	1,20	1,23	1,20	1,15	1,07	1,12
Марка материала	ВТ1-1	ВТ1-2	ОТ4-1	ОТ4	ВТ5-1	ОТ4-2	ВТ6 (отожженный)	ВТ6 (закаленный)	ВТ4 (отожженный)	ВТ14 (закаленный)
$\frac{L}{B}$	1,10	1,10	1,09	1,08	1,08	1,05	1,05	1,09	1,05	1,10

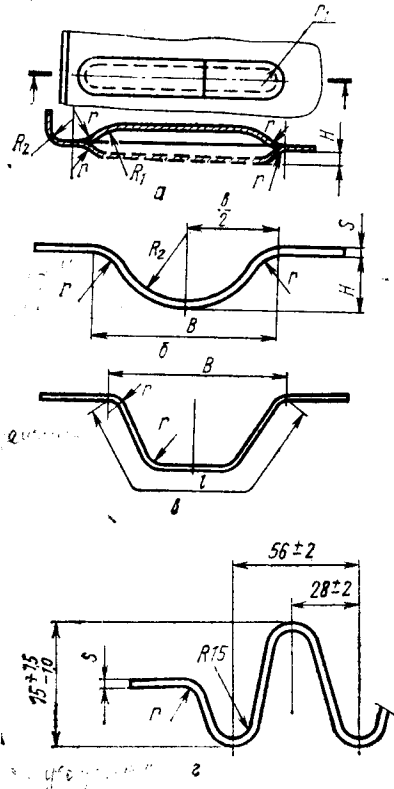


Рис. III.2.18. Рифт (а) и его сечения (б, в, з).

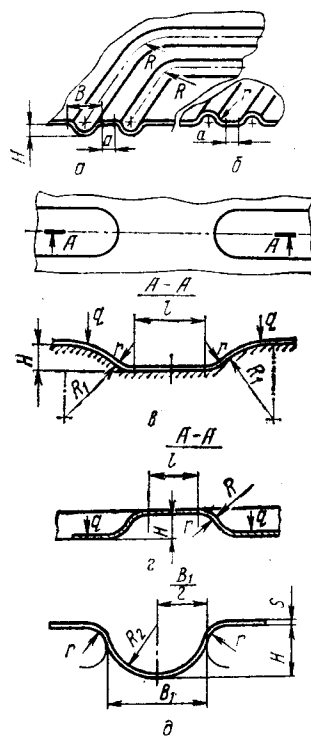


Рис. III.2.19.

Таблица III.2.25

Размеры полукруглых рифтов с округленной и плоской законцовкой

мм

Номер рифта	s	B	H	R_1	R_2	r
1	0,5—0,6	10,0	2	25(20)	4,0	3
2	0,6—0,8	14,5	3	35(20)	6,5	4
3	0,8—1,0	19,5	4	45(20)	9,0	5
4	1,0—1,2	24,5	5	55(30)	11,5	6
5	1,2—1,5	35,0	7	70(30)	15,0	8
6	1,5—1,8	42,0	9	85(40)	19,0	10
7	1,8—2,0	51,0	11	100(40)	23,0	12
8	2,0—2,5	60,0	13	115(40)	27,0	14

Допускаемые соотношения между длиной развертки L и шириной B рифтов трапецевидного профиля, отличающиеся от ГОСТ 17040—79, выбирать по табл. III.2.26.

Размер перемычки a между смежными параллельными рифтами при штамповке по схеме «в матрицу» (см. рис. III.2.19, а) или «по пуансону» (см. рис. III.2.19, б) должен быть не менее высоты рифта H . Радиус на криволинейном участке рифта $R=1,5H$. Направление выштамповки рифтов должно совпадать с направлением гибки бортов для упрощения оснастки.

Расстояние l между законцовками рифтов, расположенными на одной оси при штамповке резиной «по пуансону» (см. рис. III.2.19, а) для титановых сплавов и стали принимать не менее $3H$, для алюминиевых сплавов — не менее $2H$. При штамповке резиной «в матрицу» (рис. III.2.19, б) расстояние l для титана, стали и алюминиевых сплавов принимать не менее $1H$.

Пуклевка — частный случай рифтов, у которых длина и ширина различаются незначительно или равны. При соотношении $\frac{B}{L} \geq 0,6$ (где L и B — длина и ширина пуклевки) значение глубин пуклевок можно увеличивать до 20% по сравнению с рифтом соответствующей ширины B , значения которых приведены в ГОСТ 17040—79.

При формообразовании рифтов в листовых деталях из сплава ОТ4-1 и сталей 08Х15Н5Д2Т (ВНС-2), 0Х20Н6МД2Т (ВНС-4) и 08Х17Н5М3 (СН-3) с нагревом заготовки могут быть получены размеры элементов рифтов, указанные в табл. III.2.27.

Режимы формообразования следует выполнять согласно ПИ-268—76 (НИАТ) «Технология листовой штамповки деталей из титановых сплавов» и ПИ-1.4.097—77 (НИАТ) «Технология листовой штамповки деталей из нержавеющей стали». Синусоидальный рифт (гофр) нашел применение в ряде современных конструкций изделий, его раз-

Таблица III.2.27

мм						
Номер рифта	s	B	h	R_1	R_2	r
1	0,3–0,4	12	3	20	4,5	2
2	0,4–0,8	14	3,5	20	6,0	3
3	0,8–1,0	16	4	20	6,0	4
4	1,0–1,2	20	5	30	7,5	5
5	1,2–1,5	26	6	30	12,0	5
6	1,5–1,8	32	8	40	14,0	6
7	1,8–2,0	44	11	40	20,0	8

меры, как правило, унифицируются для групп сталей или сплавов. Пример такой унификации для группы труднодеформируемых сталей ВНС-2, СН-3 и ВНС-4 представлен на рис. III.2.18, г.

ПОДСЕЧКИ

При проектировании листовых деталей, имеющих подсежки, рекомендуется:

— подсежки деталей из алюминиевых сплавов выполнять по ОСТ 152468–80 одновременно с формообразованием других элементов детали;

— непараллельность плоскостей I и II (рис. III.2.20) концевой подсежки допускается в пределах $(h-h_1) \leq 0,1$ мм.

Подсежки деталей из титановых сплавов ВТ1-1, ВТ1-2, ОТ4-1, и других материалов с $\sigma_b \leq 90$ кгс/мм² при штамповке резиной выполнять в соответствии с рекомендациями Приложения ОСТ 152468–80.

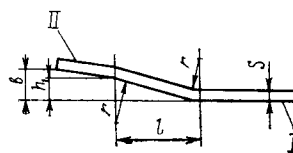


Рис. III.2.20. Подсежка (концевая).

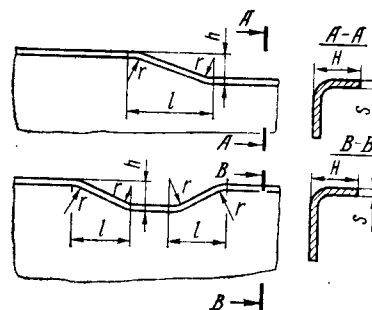


Рис. III.2.21.

Подсежки листовых деталей из титановых сплавов и сталей полностью без последующей доводки выполнять по ОСТ 152468–80 в инструментальных штампах.

Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ОБШИВОК

Технологичность деталей типа обшивок обеспечивается следующими условиями:

— поперечные и продольные стыки листов следует делать прямолинейными;

— основная масса обшивок должна иметь цилиндрическую или коническую форму с прямолинейной образующей;

— поперечные стыки обшивок конической формы с цилиндрическими обшивками должны располагаться в зоне перелома;

— в случае необходимости соединения обшивок одинарной и двойной кривизны линия стыка должна находиться на участке одинарной кривизны на расстоянии около 50 мм от линии сопряжения (рис. III.3.1);

— в некоторых случаях на деталях сложной формы, в том числе двойной кривизны с гнутыми бортами, следует предусматривать разъемы (рис. III.3.2, III.3.3), позволяющие производить формообразование отдельных частей механизиро-

ванным методом — обтяжкой, гибкой-прокаткой и т. д.;

— на обшивках сложной формы, где сочетаются поверхность двойной кривизны с плоской частью листа значительной длины, необходимо делать разъем (рис. III.3.4);

— максимальные габаритные размеры обшивок должны определяться по размерам поставляемых

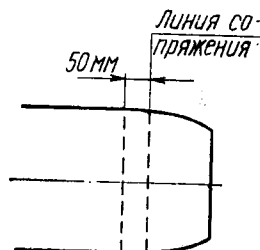


Рис. III.3.1.



Рис. III.3.2.



Рис. III.3.3. Обшивки:
1 — борт; 2 — поверхность одинарной или двойной кривизны;
3 — фигурный борт.

Рис. III.3.4.

листов с учетом двусторонних технологических припусков, необходимых для выполнения операций формообразования, раскроя торцовки, размерного травления, приварки технологических припусков и припусков для сборки. Размеры заготовок для обшивок различного типа и размеры технологических припусков приводятся ниже;

— не рекомендуется на листовых обшивках делать отбортовки, так как это усложняет технологический процесс изготовления (рис. III.3.5). В слу-

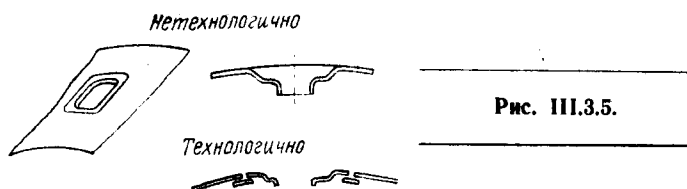


Рис. III.3.5.

чае необходимости таких отбортовок желательно устанавливать отдельную деталь с отбортовкой, которая должна соединяться с обшивкой контактной сваркой, а в обшивке делать только отверстие.

ОБШИВКИ ОДИНАРНОЙ КРИВИЗНЫ

Обшивки одинарной кривизны цилиндрической и конической форм рекомендуется изготавливать методом гибки-прокатки на валковых станках типа КГЛ-2, КГЛ-3 и ГЛП-1000.

Лобовые обшивки (носки) можно изготавливать:

— на гибочных прессах в специальных приспособлениях из предварительно подкатанной на станках КГЛ заготовки, длина таких обшивок может быть до 15 м;

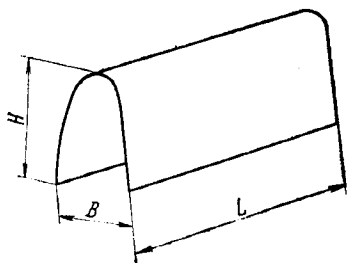


Рис. III.3.6.

— обтяжкой на специальных обтяжных прессах моделей FEKD фирмы «Луар» (Франция). Наибольшая длина лобовика в этом случае 6000 мм, а другие размеры лобовых обшивок (рис. III.3.6) могут быть в пределах данных табл. III.3.1.

Допускается формообразование обшивок одинарной кривизны из предварительно сваренных заготовок одинаковой толщины материала. В этом слу-

Таблица III.3.1

Модель пресса	L_{\max}	H	B_{\min}
ОРП-250	7000	2500	2500
FEKD 550/1100 — 6500	6500	850	20
FEKD 550/1100 — 4500	4500	800	20
FEKD 300/600 — 2850	2850	800	50

чае в чертежах должно быть разрешение на снятие наплава и проплава сварного шва заподлицо с основным металлом. Снимать сварной шов рекомендуется методом раскатки, что (наряду с выравниванием шва) позволяет ликвидировать искажения заготовки, вызванные сваркой.

Максимальные габаритные размеры сварных заготовок выбираются из тех же соображений, что и размеры цельных заготовок.

Отклонения для изготавливаемых обшивок приведены в табл. III.3.2.

Таблица III.3.2

Обшивки	Отклонения для обшивок		
	мм		
	от контура сечения*	от прямолинейности по образующей	
		на метр	на всю длину
Лобовые		0,2	1
Цилиндрические для фюзеляжа	2—3	0,5	2
Конические для фюзеляжа	3—4	0,5	1,5
Конические для крыла	до 5	0,5	2

* В свободном состоянии

Обшивки одинарной кривизны из нержавеющей стали и титановых сплавов, как и обшивки из алюминиевых сплавов, изготавливаются в основном гибкой-прокаткой на трехвалковых станках.

При изготовлении обшивок из сплава BT20 рекомендуется перед гибкой-прокаткой производить полный вакуумный отжиг.

Лобовые обшивки и обшивки с различными «выштамповками» и отбортовками из титановых сплавов изготавливаются штамповкой с нагревом заготовки на листоштамповочных молотах и гидрпрессах

в керамических штампах, поэтому их габаритные размеры не должны превышать возможностей этого оборудования.

Отклонения обшивок одинарной кривизны от болванки при нагрузке, равной 5 кгс (рис. III.3.7):

а) при толщине материала до 1 мм на сторону на сбега $\Delta_1 = +10$ мм или в центре $\Delta_2 = +5$ мм;

б) при толщине материала свыше 1 мм до 2 мм на сторону на сбега $\Delta_1 = +5$ мм или в центре $\Delta_2 = +3$ мм;

в) при толщине материала свыше 2 мм на сторону на сбега $\Delta_1 = +3$ мм или в центре $\Delta_2 = +1$ мм.

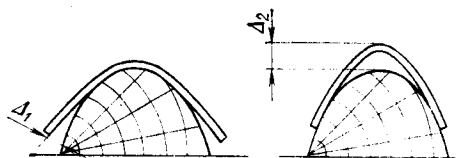


Рис. III.3.7.

ОБШИВКИ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ

Обшивки с большой продольной кривизной и поперечной кривизной с большим углом охвата (рис. III.3.8) рекомендуются изготавливать методом простой обтяжки на прессах ОП-3 и «Луар». Наибольшая длина обшивок может быть до 6000 мм.

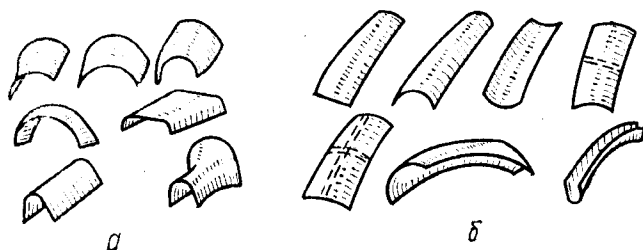


Рис. III.3.8. Типовые обшивки двойной кривизны:

а — получаемые поперечной обтяжкой на прессах типа ОП-3; б — получаемые продольной обтяжкой на прессах типа РО-3М.

Обшивки, имеющие небольшую продольную кривизну, рекомендуются изготавливать методом обтяжки с растяжением, используя прессы РО-3М, РО-630 и РО-1600. В табл. III.3.3 для указанных прессов приведены наибольшие размеры обрабатываемых заготовок.

Таблица III.3.3

Наибольшие размеры заготовок для обшивок с небольшой кривизной

мм

Модель пресса	Длина	Ширина	Толщина
РО-3М	7000	1800	6
РО-630	11 000	2200	10
РО-1600	18 000	3700	15

Длину заготовки $L_{заг}$ (рис. III.3.9) обшивки следует определить из условия:

$$L_{заг} = L_{об} + 2\Pi_1 + 2\Pi_2 + 2\Pi_3,$$

где $L_{об}$ — длина обтяжного пуансона, мм;
 Π_1 — технологический припуск (≥ 50 мм);
 Π_2 — припуск, необходимый для зажима заготовки и зависящий от конструкции зажимов ($\approx 50-100$ мм);
 Π_3 — припуск, размер которого определяется возможностями оборудования (100–150 мм).

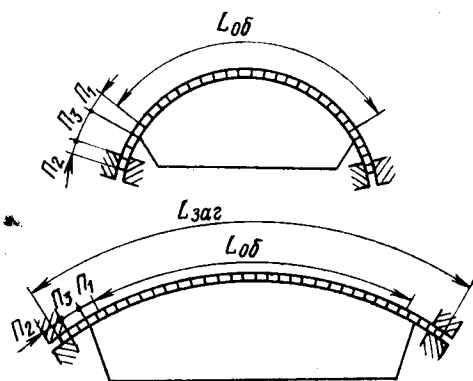


Рис. III.3.9. Схема определения длины заготовки обшивки двойной кривизны, изготавливаемой обтяжкой.

При обтяжке высокопрочных материалов (сталей и титановых сплавов) расширение возможностей процесса (увеличение коэффициента обтяжки до 1,05–1,07) возможно за счет увеличения припуска Π_3 до 500 мм. Ширина заготовки $B_{заг}$ (рис. III.3.10) определяется по формуле

$$B_{заг} = (B_{об} + 2\Pi_0)K,$$

где $B_{об}$ — ширина развертки обшивки в наиболее широком месте, мм;

Π_0 — припуск на обрезку (5–10 мм);

K — коэффициент, учитывающий сужение заготовки в процессе обтяжки.

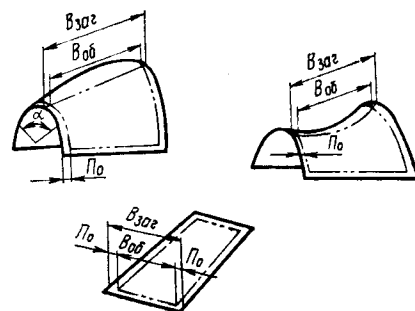


Рис. III.3.10. Схема определения ширины заготовок обшивок двойной кривизны, изготавливаемых обтяжкой.

Значение K зависит от коэффициента трения материала заготовки по пуансону и от коэффициента обтяжки. Для приближенных расчетов можно пользоваться значениями 1,02–1,12 (большее значение следует выбирать для форм обшивок со значитель-

ной продольной и поперечной кривизной (угол охвата $\alpha \geq 60^\circ$) и материалов с большим коэффициентом трения (например, для сплавов титана); для более точных расчетов следует пользоваться методикой, изложенной в РТМ-815-57 «Формообразование обшивок из высокопрочных материалов методом обтяжки» (НИАТ).

Точность обработки обшивок, изготавливаемых методом обтяжки, указана в табл. III.3.4.

Таблица III.3.4

Отклонения для обшивок

Исходный материал	Отклонения при изготовлении деталей (см. эскиз в табл. III.3.2), мм	
	без ручной доработки	с ручной доработкой
Сплавы Д16 и В95 отожженные или свежезакаленные	0,8-3	0,5-1,5
Стали в отожженном состоянии	0,8	0,5

Обшивки двойной кривизны из нержавеющей стали и титановых сплавов изготавливаются преимущественно с нагревом заготовки на листоштамповочных молотах или гидропрессах в подогреваемых штампах, поэтому их габаритные размеры не должны превышать возможностей этого оборудования.

Отклонения обшивки двойной кривизны от болванки или КРС без дополнительной нагрузки:

- а) при толщине до 1 мм на сторону на сбеge +5 мм или в центре +3 мм;
- б) при толщине материала свыше 1 мм до 2 мм на сторону на сбеge +3 мм или в центре +1 мм;
- в) при толщине материала свыше 2 мм на сторону на сбеge +1 мм или в центре +0,5 мм.

ОБШИВКИ С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

Обшивки с сотовым наполнителем могут быть плоскими и одинарной кривизны с постоянным и переменным сечением (рис. III.3.11). Обязатель-

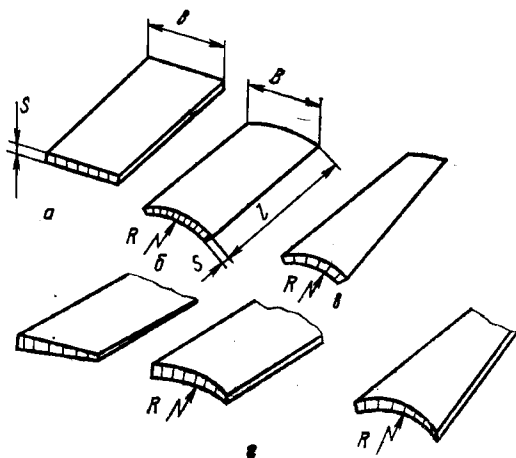


Рис. III.3.11. Обшивка с сотовым наполнителем:

а — плоская; б, в — цилиндрическая; г — коническая.

ными элементами таких обшивок являются верхний и нижний листы и сотовый наполнитель, соединенные пайкой или сваркой в панель-заготовку. Заполнитель в этих конструкциях должен быть перпендикулярен нижнему и верхнему листам.

Обшивки с сотовым наполнителем могут быть получены указанным механизированным способом из титановых сплавов и нержавеющей стали согласно РТМ-1542-76.

В табл. III.3.5 приведены марки материала и толщины для конструктивных элементов обшивок с сотовым наполнителем в зависимости от способа их соединения.

Таблица III.3.5

Способ соединения	Элементы обшивки	
	листы	сотовый наполнитель
Сварка	ОТ4-1, л. 0,3-0,5 мм по ОСТ 1.80042-71 12Х18Н10Т, лента 0,3-0,6 мм по ГОСТ 4986-70	ВТ1-0, фольга 0,05-0,08 мм* по ОСТ 1.90145-74 12Х18Н10Т, фольга 0,06 мм по ТУ 3-703-72
Пайка	12Х18Н10Т, лента 0,3-0,6 мм по ГОСТ 4986-70 Х15Н7ЮМ2 (СН-4), лист 0,3-0,6 мм по СТУ**	12Х18Н10Т, фольга 0,06 мм по ТУ 3-703-72 Х15Н7ЮМ2 (СН-4), фольга 0,06 мм по СТУ**

* В настоящее время технология отработана для фольги толщиной 0,08 мм.

** Специальные технические условия, согласованные между заказчиком и поставщиком.

Для формообразования сотовых обшивок предназначен гибочно-растяжной пресс ГРП-160-1200. Гибка сотовых обшивок производится как вдоль, так и поперек лент наполнителя. Предельные размеры обшивок, получаемых на этом прессе, представлены в табл. III.3.6.

Таблица III.3.6

Размеры обшивок с сотовым наполнителем

Форма обшивки	Ширина В, мм	Длина L, мм	Радиус кривизны R, мм	Толщина s, мм	Угол конусности α , град.
Цилиндрическая	1000	1200	250-1000	10-50*	—
Коническая	1000	1000	250-1000	10-50	$\leq 15^{**}$

* В настоящее время освоена технология получения обшивок толщиной до 20 мм.

** При угле охвата 180° .

При этом необходимо иметь в виду, что вдоль кромок (по размеру l) на обшивках отмечается поднятие панели шириной 50 мм, которое является технологическим припуском и может быть также использовано для крепления обшивок в узле.

На поверхности обшивок с сотовым заполнителем, используя универсальные прессы и дополнительную простую оснастку, можно получить различные по форме выдавки для крепления арматуры. Выдавки могут быть различной глубины — до полного смятия или частичного. На рис. III.3.12, *а* показана обшивка с выдавкой полного смятия заполнителя по всему периметру; на рис. III.3.12, *б* — местная выдавка, на рис. III.3.12, *в* — выдавка с полным и частичным смятием заполнителя.

Рекомендуется:

- размещать выдавки с выходом их контура на край обшивки;
- радиусы закруглений выдавок R выполнять не менее двух высот заполнителя;
- радиус перехода от полного сечения обшивки к смятой зоне ее должен быть $r \geq 10$ мм (рис. III.3.13);
- минимальное расстояние между соседними выдавками допускать не менее 100 мм.

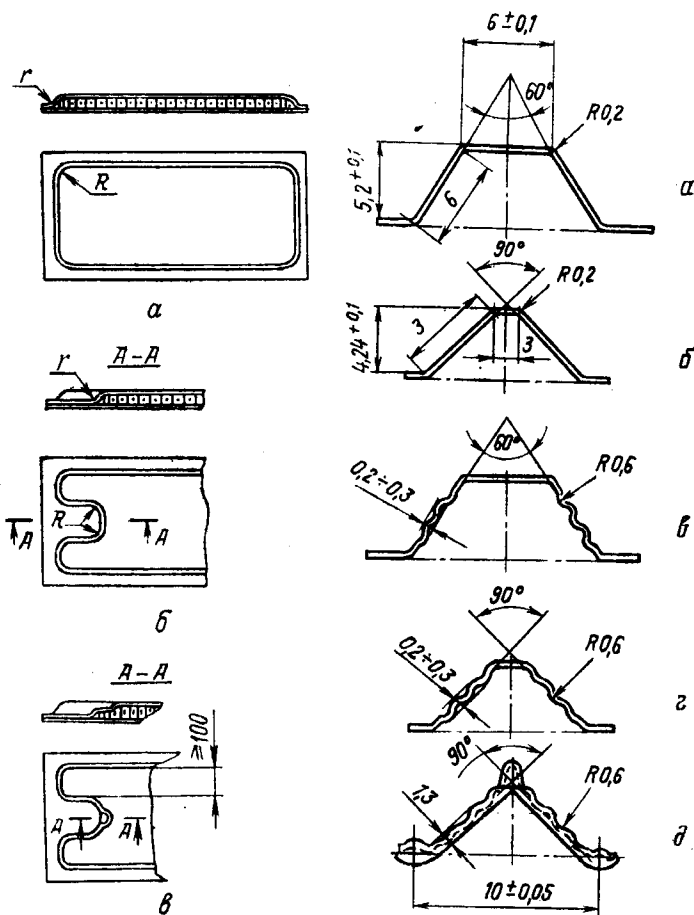


Рис. III.3.12.

Рис. III.3.13. Формы и размеры ячеек сот для обшивок.

Сотовый заполнитель паяных обшивок может иметь шестигранную и квадратную форму ячеек, стенки которых могут быть гладкими (рис. III.3.13, *а*, *б*) и с рифтами (рис. III.3.13, *в*, *г*), которые увеличивают жесткость заполнителя.

Производство сотового заполнителя с гладкими стенками может осуществляться гибкой-прокаткой в роликах на установке УГФ-1, а с рифтованными стенками — в инструментальных штампах на механических прессах. Толщина сотового заполнителя должна быть в соответствии с рекомендациями табл. III.3.5, размеры ячеек представлены на рис. III.3.13; радиусы закруглений в гофрах не должны превышать 0,2 мм. Глубину рифтов рекомендуется делать 0,2–0,3 мм.

Сотовый заполнитель сварных обшивок имеет квадратную форму ячейки с рифтованными стенками (рис. III.3.13, *д*) и может быть получен штамповкой в инструментальном штампе на механических прессах. Для качественной автоматической сварки листов с заполнителем на последнем необходимо предусматривать отбортовки шириной не более 1,3 мм (см. рис. III.3.13, *д*).

Прочностные характеристики обшивок с сотовым заполнителем в значительной мере определяются качеством и точностью изготовления самого заполнителя, которые, в свою очередь, зависят от точности заготовок. Необходимая точность ширины лент может быть обеспечена при раскрое многодисковыми ножницами типа НА-400, коэффициент использования материала при этом составляет 0,85–0,9.

Предварительно перед штамповкой фольга должна быть отожжена в вакуумных печах и иметь свойства в соответствии с табл. III.3.7. Практически эти свойства сохраняются и в конструкции сварной обшивки. Свойства паяной обшивки зависят от режимов пайки в соответствии с РТМ-1542–76.

Таблица III.3.7

Материал	Механические свойства	
	σ_b , кгс/мм ²	δ_{10} , %
12Х18Н10Т	50–60	40–60
ВТ1-0	44–46	25–26

МОНОЛИТНЫЕ ПАНЕЛИ

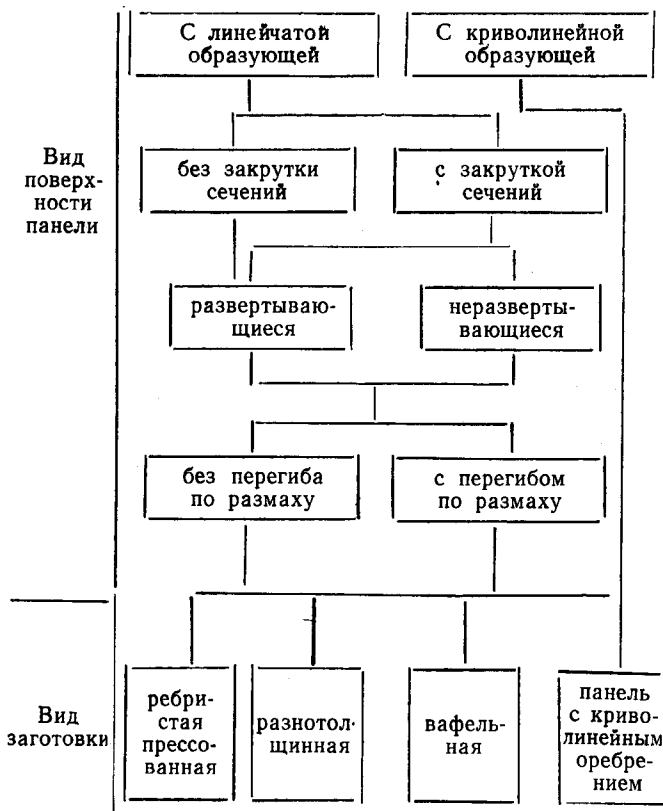
Монолитные панели — это детали, в которых обшивка выполнена как одно целое с элементами каркаса и соединительными элементами. К ним также относятся клиновые или ступенчатые обшивки сборно-монолитной конструкции, имеющие усиления в местах крепления каркаса. Переменность сечения используемой заготовки уменьшает число возможных схем формообразования, резко усложняет технологию и увеличивает трудоемкость формообразования; а также накладывает ряд ограничений на конструктивные формы панелей, которые могут быть изготовлены. Поэтому применение монолитных панелей в конструкциях оправдано только в случаях существенного улучшения эксплуатационных характеристик изделий — повышения надежности, ресурса, снижения массы.

Монолитные панели — в большинстве своем детали весьма сложные для формообразования. Основными характеристиками, влияющими на тех-

нологичность монолитных панелей, являются вид поверхности и тип оребрения (вид заготовки).

По способу построения поверхности могут быть разделены на поверхности с линейчатой и с криволинейной образующими (см. схему). Наиболее распространенные в летательных аппаратах поверхности получают движением прямой линии (образующей) по двум исходным сечениям (направляющим). Такая поверхность определяется профилем и взаимным положением исходных сечений, а также законом движения по ним прямой линии. Наиболее часто прямая линия соединяет точки сечения, соответствующие равным процентам длины хорды сечений, то есть является процентной линией.

Разновидности обшивок самолетов из монолитных панелей



Если исходные сечения подобны и хорды их параллельны, то линейчатая поверхность с прямыми процентными линиями получается развертывающейся, то есть может быть только изгибом совмещена с плоскостью или получена из плоскости.

Если исходные сечения имеют взаимную закрутку (хорды их расположены не в одной плоскости), то линейчатая поверхность с прямыми процентными линиями является неразвертывающейся, то есть не может быть получена из плоскости простым изгибом, так как ее формирование связано с удлинением одних участков относительно других.

На исходных сечениях с взаимной закруткой линейчатая поверхность может быть построена развертывающейся в том случае, если прямые линии не являются процентными, а соединяют те точки двух исходных сечений, в которых нормали к сечениям лежат в одной плоскости.

В ряде случаев линейчатая поверхность может быть построена по трем исходным сечениям так, что по среднему сечению линейчатая образующая имеет излом. Это характерно для панелей крыла с перегибом по размаху. Назовем эти поверхности линейчатыми с перегибом по размаху.

В отличие от поверхностей с линейчатой образующей могут быть построены поверхности с криволинейной образующей. При криволинейных направляющих они являются поверхностями двойной кривизны, то есть неразвертывающимися.

Монолитные панели также различаются по виду оребрения используемой заготовки (см. схему):

— ребристая прессованная заготовка имеет ребра в виде пластинки, Г-образные, Т-образные. Толщина полотна и размеры сечения ребер могут быть переменными по длине панели, что достигается их предварительной механической обработкой;

— разнотолщинная плита представляет собой клиновую или ступенчатую обшивку, получаемую механической обработкой из плоской плиты с усилениями под стрингеры и нервюры. Применяется в сборно-монолитной конструкции панели;

— вафельная панель имеет оребрение в виде двух пересекающихся систем ребер, обычно изготавливается механической обработкой из плиты. Панель с криволинейным оребрением имеет усиления в виде концентрических кривых, что часто сочетается с ребристым или вафельным оребрением. Применяется в зонах, имеющих люки и оконные проемы и изготавливается механической обработкой из плиты или спецпрофиля.

Сопряжения ребер жесткости с полотном панели рекомендуется выполнять, как показано на рис. III.3.14, а ($l \leq \frac{l_1}{3}$) и III.3.14, б ($l \leq \frac{l_3}{8}$; $l_2 \leq \frac{l_3}{4}$; $h \geq 1,3 h_2$). Сопряжение, показанное на рис. III.3.14, а, является более предпочтительным.

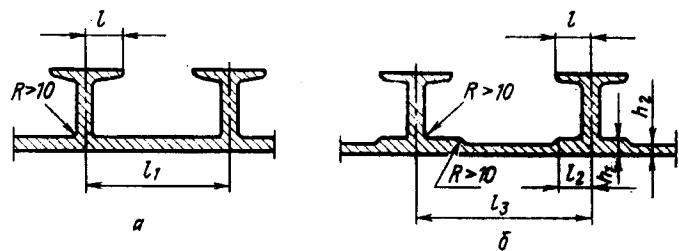


Рис. III.3.14. Сопряжение ребер жесткости с полотном панели.

Высота ребер жесткости, параллельных линии сгиба панелей, может быть переменной. Высота ребер жесткости, перпендикулярных линии сгиба, должна быть постоянной на всем протяжении панели. Наиболее технологичными являются панели с постоянной толщиной полотна, менее технологичными — панели со ступенчато-переменной толщиной полотна, еще менее технологичными — панели с толщиной полотна, линейно изменяющейся по размаху. Целесообразно требуемую прочность панели задавать за счет ребер жесткости, оставляя толщину полотна постоянной.

При проектировании панелей со ступенчато-переменной толщиной полотна при необходимости изме-

нения толщины полотна в направлении вдоль ребер (размаха) интервалы постоянства толщины полотна выбирать равными шагу нервюр (шпангоутов) (рис. III.3.15); поперек панели интервалы постоян-

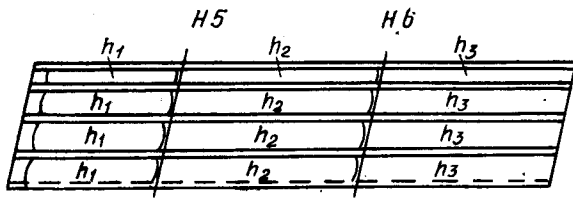


Рис. III.3.15. Панель со ступенчато-переменной толщиной полотна, изменяющейся в направлении ребер.

ства толщины полотна должны соответствовать шагу ребер жесткости и распространяться на всю длину панели (рис. III.3.16). При проектировании

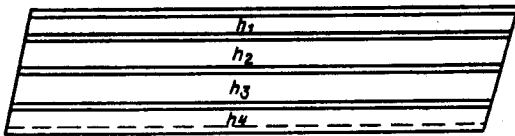


Рис. III.3.16. Панель со ступенчато-переменной толщиной полотна, изменяющейся в направлении, перпендикулярном ребрам.

панелей, толщина полотна которых изменяется по размаху линейно, необходимо учитывать следующее:

а) толщина полотна в каждом поперечном сечении должна оставаться постоянной (за исключением стыковых подсечек);

б) уклон сечения панели рекомендуется сохранять постоянным по всей длине панели.

Толщина окантовок сливных отверстий и монтажно-контрольных люков должна быть не более двойной толщины полотна в районе окантовок. Сопряжение окантовки с полотном необходимо осуществлять радиусом не менее 10 мм (рис. III.3.17).

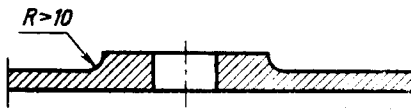


Рис. III.3.17.

Если по конструктивным соображениям толщина окантовки должна быть более двойной толщины полотна панели в окрестности окантовки, то место люка выполняется сборным.

Допускается перенос на полотно панели полки лонжерона. В этом случае ширина обшивки не должна превышать 1000 мм, а толщина усиления под лонжерон должна быть не больше 20 мм. Перенос стенки лонжерона или элемента стенки на панель не допускается.

Для пристыковки нервюр (или шпангоутов) к панели возможны решения, указанные на рис. III.3.18. При варианте, указанном на рис. III.3.18, б, толщина усиления полотна h_2 в месте пристыковки должна быть не более двойной толщины полотна, а ширина выреза — не менее

80 мм. Комбинация способов «а» и «б» (см. рис. III.3.18) на одной нервюре не допускается и не желательна на одной панели.

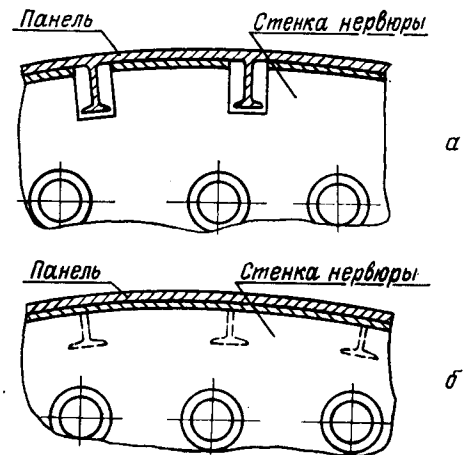


Рис. III.3.18. Возможные варианты стыковки панели с нервюрами:

а — ребра жесткости сплошные, вырезы в нервюрах; б — в местах пристыковки ребра жесткости срезаны.

Монолитные панели могут быть изготовлены из сплавов Д16Т, Д19Т, АК4-1, В95пчТ2, 01420, 1201, АМг6.

Панели линейчатые, без закрутки сечений, развертывающиеся (рис. III.3.19, б) представляют собой цилиндрические и конические обшивки фюзеляжа и хвостового оперения самолетов. Этот тип панелей является наиболее технологичным.

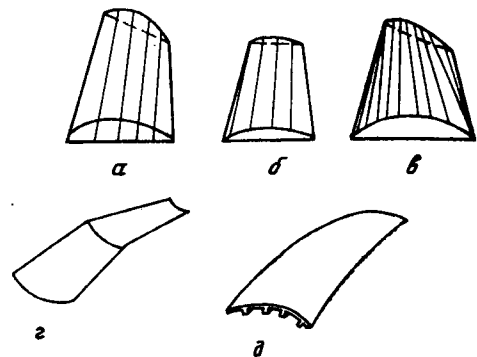


Рис. III.3.19. Типы монолитных панелей.

Предпочтительным по уровню механизации и трудоемкости является процесс дробеударного их формообразования на механизированных дробеударных установках типа УФПД-3, которые в настоящее время позволяют деформировать панели шириной до 1000 мм и длиной до 12 м. Создание установки УФПД-4 позволит деформировать панели шириной до 2500 мм и длиной до 25 м. Установка БДУ-Э2М с ручным перемещением дробеструйной головки не ограничивает длину панели, а ширина панели может быть до 2000 мм.

В табл. III.3.8 приведены наибольшие размеры панелей для различных дробеударных установок.

Таблица III.3.8

Модель дробеударной установки	Наибольшие размеры деформируемой панели, мм	
	ширина	длина
УФПД-3	1000	До 12 000*
УФПД-4	2500	До 25 000*
БДУ-Э2М	2000	Не ограничена

* Станины станков секционные, позволяющие в зависимости от числа секций обрабатывать панели длиной 6, 9, 12 м.

Дробеударное формообразование позволяет получать панели рассматриваемого типа из ребристых заготовок и разнотолщинных плит, если направление продольных жесткостей в виде ребер и усилений обшивки практически совпадает с образующей поверхности (угол отклонения не более 5°). Режимы обработки и технологические особенности дробеударного формообразования изложены в РТМ-1171—69.

Время изготовления панели размером 1000×12 000 мм дробеударным формообразованием на механизированной установке УФПД-3 составляет 8—10 ч.

Для осуществления дробеударного формообразования панели должны удовлетворять следующим требованиям:

- толщина полотна должна быть в пределах 1,5—16 мм;
- направление ребер ребристой заготовки и продольных усиления разнотолщинной плиты должно совпадать с образующей поверхности (угол между этими направлениями не должен превышать 5°);
- минимальный радиус кривизны должен быть не меньше указанного в табл. III.3.9;

Таблица III.3.9

Толщина полотна панели	мм									
	1—7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Мини- мальный ра- диус кривизны	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000

— технические условия на сдачу панели в сборку должны допускать отклонения поверхности панели в свободном состоянии от теоретического контура: вдоль нервюр — до 1 мм, по размаху — до 1 мм/м (от линейки) и до 3 мм на всю длину.

Наиболее технологичными являются панели, не имеющие перерывов ребер, при этом толщина обшивки в зоне перерыва ребер может быть увеличена не более чем в два раза, плавный сбег ребра

должен заходить на утолщенную обшивку, длина выреза ребер должна быть не менее 80 мм (рис. III.3.20).

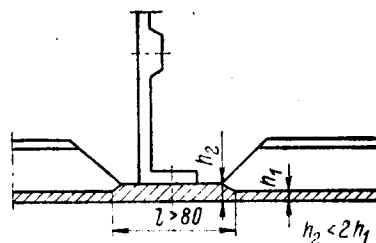


Рис. III.3.20. Конструктивное выполнение утолщения обшивки под нервюру или шпангоут.

Панели линейчатые, без закрутки сечений, разветвляющиеся, у которых толщина полотна превышает 20 мм и ребра жесткости составляют с образующими поверхности угол более 5°, могут быть получены свободной гибкой одновременно по всей линиигиба на гибочных прессах типа «Пельс» или «Цинцинати», либо на валковых станках КГЛ-2, КГЛ-3, ЛГС-10, либо гибкой по участкам на прессах типа ПП-250.

В табл. III.3.10 приведены наибольшие размеры панелей, которые могут быть получены гибкой на различных видах оборудования.

Таблица III.3.10

Оборудование	Размеры панели		
	длина	ширина	толщина полотна
Гибочные прессы зарубежные: «Цинцинати», «Пельс»	7000	Не ограничена	20
КГЛ-2	5000	»	6
КГЛ-3	7000	»	10
Консольный пресс ПП-250	Не ограничена	1500	до 20
ЛГС-10	10	1500	6
Станок гибки-прокатки* ГЛП-1000 (Я06020)	15	1000—4000	10
Пресс гибки по участкам* ГЛП-1600 (Я006.008)	25	2500	100

* В стадии изготовления.

Выбор режимов гибки и правки панелей указанных конструкций обшивки из монолитных панелей изложен в ПИ-234—74.

При проектировании панелей данного типа с вальфельным или криволинейным оребрением необходимо, чтобы

- высота ребер была одинаковой и не превышала десяти его толщин;
- ребро было перпендикулярно к обшивке.

Панели линейчатые, с закруткой сечений, развертывающиеся (рис. III.3.19, в). Прямолинейная образующая таких поверхностей сильно изменяет угол пересечения продольной оси панели, поэтому при использовании ребристой заготовки линиягиба будет пересекать ребра под различными углами, изменяющимися в широких пределах, что не позволяет применять дробеударное формообразование и вызывает большие трудности при гибке по участкам на гибочном прессе. Поэтому применять ребристую заготовку для панелей с такой поверхностью не рекомендуется.

Для формообразования таких панелей лучше использовать в качестве заготовки разнотолщинные плиты либо вафельные панели с поперечными и продольными ребрами одинаковой постоянной высоты. При этом высота ребер должна быть не более десяти их толщин, расположение ребер — по нормали к обшивке. В этом случае панели могут быть получены свободной гибкой на гибочных прессах. Однако этот процесс требует высокой квалификации рабочего и связан с большой трудоемкостью.

Панели линейчатые, с закруткой сечений, неразвертывающиеся (рис. III.3.19, а) наиболее часто используются в качестве обшивок крыла. Если закрутка их не превышает $0,2^\circ$ на длине, равной ширине панели, формообразование производится по поперечной кривизне, как и для незакрученных панелей (смотри выше), затем, после проверки по контрольному стапелю, производится доводка по продольной кривизне местным свободным изгибом на гидравлическом прессе типа ПП-250. Рекомендуемые заготовки — ребристая панель или разнотолщинная плита. При контроле, взаимной комплектации и сборке таких панелей должен быть предусмотрен прижим в стапеле. Панели такой поверхности являются нетехнологичными и не рекомендуются в конструкциях:

- из вафельных заготовок;
- с углами закрутки более вышеуказанного;
- не допускающих по техническим условиям заливки при контроле и сборке.

Панели с линейчатой образующей с перегибом по размаху (рис. III.3.19, г) представляют собой обшивку крыла преимущественно тяжелых самолетов.

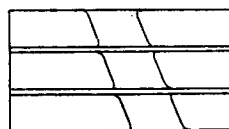
Формообразование перегиба по размаху на заготовке, предварительно отформованной по попереч-

ной кривизне, может осуществляться в штампе на гидравлическом прессе. Предпочтительно протяженность зоны перегиба задавать в пределах одного шага нервюра. В пределах зоны перегиба не рекомендуется ступенчатый переход толщины вдоль оси детали. При необходимости площадку под нервюру в зоне перегиба выполнять так, как показано на рис. III.3.21.

Предпочтительнее выполнять такие панели из разнотолщинной плиты. Может быть использована ребристая заготовка. При этом в зоне перегиба ребра предпочтительнее открытые (без горизонтальной полки), их высота не должна превышать пяти толщин, а необходимая продольная жесткость панели может быть достигнута путем увеличения толщины ребер и обшивки панели.

При переменном знаке угла перегиба предпочтительно по линии нулевого перегиба проводить стык соседних панелей.

Не рекомендуется



Рекомендуется

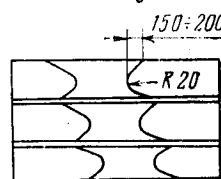


Рис. III.3.21.

Панели с криволинейной образующей (рис. III.3.19, д) представляют собой двойной кривизны обшивку фюзеляжей. Эти детали имеют неразвертывающуюся поверхность. Эффективных механизированных методов серийного производства таких деталей нет. Применение их в конструкциях не рекомендуется.

В мелкосерийном производстве в исключительных случаях такие панели могут быть получены из разнотолщинной плиты или ребристой заготовки с открытыми ребрами формовкой по участкам в штампе на гидропрессе с дополнительной посадкой отдельных участков посадочным инструментом. Точность процесса невысокая, отклонение контура достигает 2—3 мм. Панели с вафельными и криволинейными ребрением могут быть отформованы по матрице (на всю поверхность детали) с помощью гидровзрывной штамповки. В этом случае на каждую деталь требуется предварительная (корректирующая) и окончательная матрицы.

Глава 4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ КАРКАСА ИЗ ЛИСТА

ПЛОСКИЕ ДЕТАЛИ

Детали с контуром, образованным прямыми линиями

При проектировании плоских деталей с прямоугольным контуром следует иметь в виду, что их изготовление возможно на гильотинных ножницах, в штампах и на специальных фрезерных станках, которые дают разную точность кромки.

Крупногабаритные детали (рис. III.4.1) из алюминиевых сплавов, углеродистых, нержавеющих и

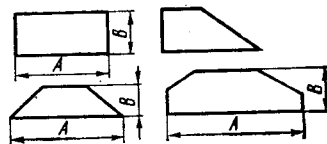


Рис. III.4.1.

жаропрочных сталей, из титановых сплавов, имеющие длину до 7000 мм и ширину от 200 до 7000 мм, можно раскроить на гильотинных ножницах, размеры ряд и основные параметры которых определяются ГОСТ 6282—64. Модели ножниц, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в «Каталоге заготовительно-штамповочного оборудования», изд. 3, сер. II, НИАТ, 1973.

При резке на гильотинных ножницах толщину листов можно брать в пределах 0,2—15,0 мм. Следует отметить, что в зависимости от толщины раскраиваемого листа h_1 скос отрезаемых кромок Δ_1 различен.

Размер скоса кромки листов при их резке на ножницах, мм

h_1	0,5—1,5	1,5—2,0	2,0—4,0	4,0—8,0	8,0—12,0	12,0—15,0
Δ_1	0,04—0,05	0,06—0,08	0,08—0,12	до 1,0	до 2,0	до 3,0

Возможный вырыв материала на кромке деталей для листов толщиной 4—15 мм составляет 0,5 мм.

Для симметричных деталей (см. рис. III.4.1) возможен некоторый перекосяк, размер которого определяется разностью диагоналей. При длине диагоналей 1000—3000 мм разность диагоналей может составлять 3 мм, при длине 3000—6500 мм — 4 мм, при длине свыше 6500 мм — 5 мм.

Точность деталей, полученных раскроем на гильотинных ножницах, соответствует 9—7-му классу; отклонения от прямолинейности реза в пределах $\pm 0,05 \div 0,15$ мм для листов и $\pm 0,3 \div 1,1$ мм для лент, у которых длина реза больше ширины более чем в 5 раз.

Аналогичные детали с более точным контуром можно получать в штампах и фрезерованием. Анализ условий серийного производства показывает, что в штампах целесообразно вести вырубку деталей размером до 800 мм. Более высокую точность деталей можно обеспечить чистовой вырубкой, технологические возможности которой изложены ниже.

Для получения точных деталей больших габаритов обычно используют фрезерование, так как изготовление вырезных штампов больших размеров связано со значительными техническими трудностями.

Детали с криволинейным контуром

При проектировании плоских деталей из алюминиевых сплавов, имеющих криволинейные очертания контуров (рис. III.4.2), целесообразно использовать прогрессивный метод раскроя фрезерованием на раскройно-фрезерных станках с программным управлением моделей РФП-1 и РФП-2.

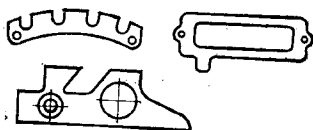


Рис. III.4.2.

Запись программы работы станка на магнитную ленту может выполняться по числовым данным чертежа на интерполяторе или по шаблонам деталей методом копирования.

При этом рекомендуется:

— габаритные размеры деталей брать в пределах: минимальные 4000×400 мм, максимальные

2000×6000 мм для станка РФП-2 и 2000×11 000 мм для станка РФП-1;

— минимальный радиус на внутренних углах (прямом, тупом и остром) брать 1—1,5 R копирующего пальца (для данных станков диаметр D копирующего пальца равен 10 мм при диаметре фрезы 8 мм, так как $d_{\text{кп}} = d_{\text{ф}} + 2$ мм); минимальный радиус на наружных углах (прямом, тупом и остром) может быть равен 0;

— минимальное отверстие в детали брать 15—20 мм;

— толщина пакета листов до 15 мм.

Точность по контуру деталей, получаемых на станках РФП-1 и РФП-2, $\pm 0,25$ мм.

Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789—73 и ГОСТ 2309—73 соответствует 3—4-му классу.

Эти же детали можно получать на широко распространенных фрезерных станках ДФ97А, ДФ98А, РФК-1 и др. (см. «Каталог заготовительно-штамповочного оборудования», изд. 3, сер. II, НИАТ, 1973).

При этом рекомендуется:

— острые углы плоских деталей скруглять радиусами $R \geq 4$ мм во впадинах и $R_1 \geq 5$ мм в выступах (рис. III.4.3);

— размеры перемычек между краями круглых отверстий и контуром плоской детали брать не менее 4 s , где s — толщина листа (рис. III.4.4);

— толщина пакета листов 4—12 мм;

— шероховатость поверхности $R_z \nabla - \nabla$ по ГОСТ 2309—73 и ГОСТ 2789—73.

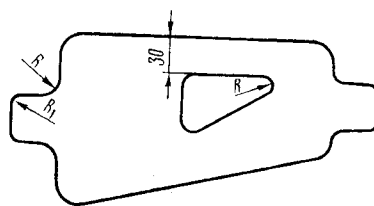


Рис. III.4.3.

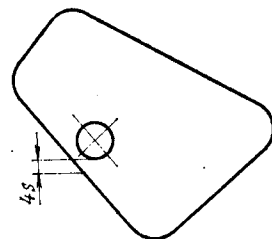


Рис. III.4.4.

Для группового раскроя стальных деталей создаются лазерные станки с программным управлением, которые смогут обрабатывать детали длиной до 8000 мм, при этом коэффициент использования материала составит 0,75—0,8.

Малогабаритные детали

При проектировании малогабаритных плоских деталей (рис. III.4.5) размерами до 200×300 мм так же, как и с прямолинейным и криволинейным контурами, наиболее технологичным процессом является вырубка в штампах на листоштамповочных механических и гидравлических прессах.

Вырубку деталей из листов нержавеющей стали и титановых сплавов можно производить в инструментальных, пластинчатых, ленточных, комбинированных штампах простого последовательного и совмещенного действия.

При вырубке деталей в штампах рекомендуется:

- наименьшие расстояния C между краями пробиваемых отверстий, а также от краев отверстий до кромки выбирать не менее толщины листа s (рис. III.4.6);



Рис. III.4.5.

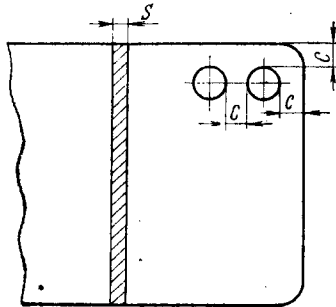


Рис. III.4.6.

- наименьший радиус скругления углов и вырезов R брать не менее $0,6 s$ (рис. III.4.7);
- наименьшую ширину прорези a брать равной $2 s$, но не менее 5 мм (рис. III.4.8);
- радиус закругления R на деталях шириной до 100 мм делать больше половины ширины B заготовки.

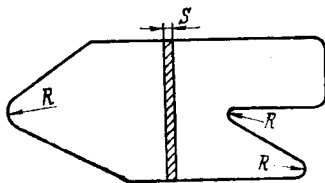


Рис. III.4.7.

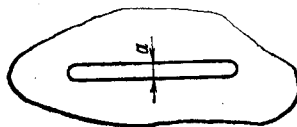


Рис. III.4.8.

Высота уступа у детали и пробиваемого отверстия, диаметр пробиваемого отверстия или сторона квадрата, наименьшие радиусы сопряжения кромок вырубленных деталей и пробиваемых отверстий, размер перемычек при вырубке деталей и пробивке отверстий зависят от толщины материала, размеров и формы пробиваемых отверстий, для деталей из титановых сплавов размеры указанных элементов должны отвечать требованиям, изложенным в инструкции ВИАМ № 642—71, раздел 4.

Применяемая в последнее время за рубежом и у нас в стране чистовая вырубка позволяет проектировать детали повышенной точности, с высокой чистотой среза в специальных штампах на специальном оборудовании моделей GKP-FN 50/80 и A-6828.

Для чистовой вырубки пригодны конструкционные углеродистые, улучшенные и цементированные, нелегированные или низколегированные стали, цветные металлы — медь, латунь, алюминий.

При проектировании прецизионных деталей, изготавливаемых чистовой вырубкой, необходимо учитывать, что острые углы должны закругляться, в противном случае на деталях получаются трещины. Минимальные радиусы закругления R (см. рис. III.4.7) зависят от толщины листового материала и его прочности. Для материалов с повышенной или пониженной прочностью радиусы уменьшаются или увеличиваются пропорционально изменению предела прочности. На приведенной

диаграмме (рис. III.4.9) показаны ориентировочные значения минимальных радиусов выступающих углов и заострений для материалов, имеющих прочность на растяжение 40 кгс/мм² (400 МПа).

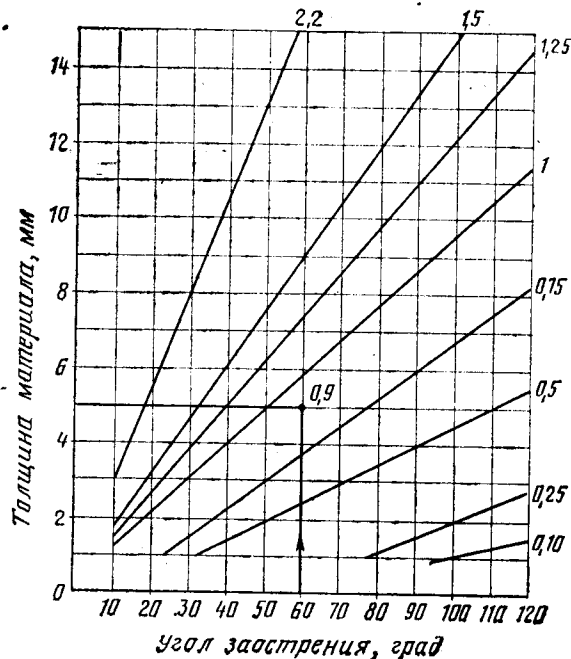


Рис. III.4.9.

Отверстия в листах толщиной от 1 до 4 мм могут вырубаться с шириной кромок и перемычкой, равными 60—65% толщины материала. Для листов толщиной выше 4 мм размер кромок и перемычек должен быть большим. Для удлиненных отверстий и близких к ним форм размер кромок и перемычек определяется не только в зависимости от толщины листа и его прочности, но и от длины внутренней формы.

При толщине материала 2 мм ширина края и размер перемычек составляют 60% от толщины материала, при толщине 4 мм — 62,5%, а при толщине 8 мм — 70% от толщины материала. При толщине материала 2,5 мм и длине шлица 15 мм ширина края и размер перемычки составляют 97% от толщины материала.

Специфичная схема напряженного состояния при вырубке (всестороннее сжатие), жесткая конструкция штампа, позволяющая выдерживать постоянные зазоры, плавный цикл вырубки и выталкивание отхода после каждой вырубки дают возможность производить вырубку отверстий и шлицев меньшего размера, чем толщина листа.

Детали из нержавеющей стали, алюминиевых сплавов и титановых сплавов, имеющие сложные наружные и внутренние контуры (см. рис. III.4.2, III.4.5) целесообразно получать на высечных станках моделей Н532, Н533, Н535, Н4514, Н4516, Н4518. При проектировании деталей подобного типа необходимо учитывать, что наименьший радиус закругления при вырезке наружного контура при толщине листа до 1 мм допускается не менее 10 мм, при толщине листа свыше 1 до 2 мм — не менее 30 мм, при толщине листа свыше 2 до 4 мм — не менее 50 мм.

При вырезке детали по внутреннему контуру минимальный радиус увеличивается в 2–3 раза по сравнению с минимальным радиусом по наружному контуру.

Точность этих деталей находится в пределах $\pm 0,2$ мм от контура шаблона.

НЕРВЮРЫ, ДИАФРАГМЫ, СТЕНКИ

На самолете имеется значительное количество деталей из листа, сочетающих в себе различные конструктивные элементы: борт, подсечки, рифты, отбортованные и неотбортованные отверстия (рис. III.4.10). Эти детали составляют каркас самолета и должны удовлетворять высоким требованиям по жесткости и точности элементов, определяющих обводы изделия.

При проектировании нервюр, диафрагм, стенок, листовых профилей и других деталей этого типа необходимо, помимо указанных выше технологических требований к отдельным конструктивным их элементам, учитывать ряд технологических рекомендаций по размещению и сочетанию конструктивных элементов в пределах общего контура детали. Кроме того, для обеспечения технологичности конструкций деталей этого типа следует учитывать особенности методов их изготовления и специфику применяемого оборудования. Производство разнообразных по габаритным размерам и внешнему контуру деталей типа нервюр обеспечивается штамповкой по формблокам гидроэластичными средами при давлениях от 10 до 300 МПа (100–3000 кгс/см²) на гидравлических прессах, гидродинамических молотах, электрогидравлических прессах и падающих молотах. Наибольшими технологическими возможностями обладают специализированные гидравлические прессы типа П5054 (124ШР), 110ШР и другие, предназначенные для групповой бездвухочной штамповки (деталей из алюминиевых сплавов) при давлении 100 МПа (1000 кгс/см²). В табл. III.4.1 приведены характеристики столов имеющихся и создаваемых прессов и указаны их силовые характеристики.

Ориентируясь на размеры столов, конструктор сможет правильно назначить размеры деталей. Для бездвухочной штамповки указанных деталей из титановых сплавов необходимо давление 100–150 МПа (1000–1500 кгс/см²). Однако без нагрева на прессах типа П5054 могут быть отштампованы только детали из титановых сплавов с удовлетворительной пластичностью (BT1-0, OT4-1) и имеющие плавные контуры, неглубокие отбортовки и рифты. Детали рассматриваемого типа из других марок титановых материалов (OT4, BT6, BT14, BT20) могут быть изготовлены только штамповкой с нагревом заготовки. Этот процесс может быть реализован на листоштамповочных молотах с при-

менением жестких штампов или контейнеров с эластичной средой. Габаритные размеры деталей определяются размерами рабочих столов молотов и контейнеров (табл. III.4.1).

Таблица III.4.1

Габаритные размеры рабочих столов специализированных гидравлических прессов для штамповки гидроэластичными средами

Модель пресса	Усилие, кН (тс)	Деформирующее давление, МПа (кгс/см ²)	Размеры стола, м
П5054 (124ШР)	240 000 (24 000)	100 (1000)	1,2×2,0
П5650 (110ШР)	100 000 (10 000)	100 (1000)	0,7×1,4
Я06019* (160ШР)	600 000 (60 000)	100 (1000)	1,5×4,0
QRD-600	600 000 (60 000)	100 (1000)	1,2×4,1
П-307 (ПШР-1)	96 000 (9 600)	300	1,2×2,0

* В стадии изготовления.

Из сплавов OT4, BT5-1, BT6с, BT14 и BT20 рационально изготавливать детали изотермической штамповкой в керамических штампах на универсальных прессах. При этом обеспечивается высокая точность контуров деталей. Однако габаритные размеры деталей ограничиваются размером 500×500 мм (ПШ-268–76).

При штамповке с нагревом заготовки эффективно использовать высокоскоростное оборудование (падающие молоты, электрогидравлические прессы, гидродинамические молоты), обеспечивающее большое давление и кратковременность контакта нагретой заготовки с холодной оснасткой. Размеры столов этого оборудования (см. табл. III.4.1) определяют наибольшие габаритные размеры деталей типа нервюр из титановых сплавов. Следует учитывать, что применение керамических штампов в настоящее время ограничивается размером до 500 мм.

Из нержавеющей стали (типа ЭИ878, ЭИ703) при $\sigma_{\text{в}} \leq 900$ МПа (90 кгс/мм²), $\delta \geq 15\%$ и $\delta_{\text{равн.}} \geq 8\%$ гидравлической штамповкой по формблокам и на прессах типа П5054 (см. табл. III.4.2) могут быть изготовлены нервюры толщиной до 1,5 мм. Из сталей переходного класса типа 07X16H6 и 08X17H5M3 (CH-2 и CH-3) эти детали, кроме того, не должны иметь подсечек, рифты на них должны иметь одинаковое направление с бортами (их формовка на обжим вызывает растрескивание материала), радиус кривизны бортов должен быть не более 200 мм.

Из указанных нержавеющей сталей при толщине заготовки 1,5 мм, а также из нержавеющей сталей при $\sigma_{\text{в}} \leq 900$ МПа (90 кгс/мм²), $\delta \leq 15\%$ и $\delta_{\text{равн.}} \leq 8\%$ нервюры и им подобные детали можно изготавливать только штамповкой с нагревом заготовки.

Применение технологического нагрева значительно увеличивает цикл обработки, усложняет оснастку и в целом повышает себестоимость деталей.

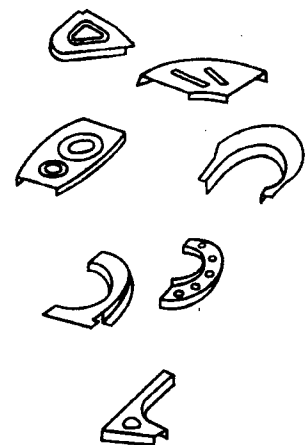


Рис. III.4.10. Нервюры, диафрагмы, стенки.

Конструкция нервюр, диафрагм, листовых профилей и других подобных деталей должна удовлетворять следующим технологическим требованиям.

Размещение отбортовок и элементов жесткостей на нервюрах выполнять в соответствии с рис. III.4.11. Минимальные размеры перемычек b

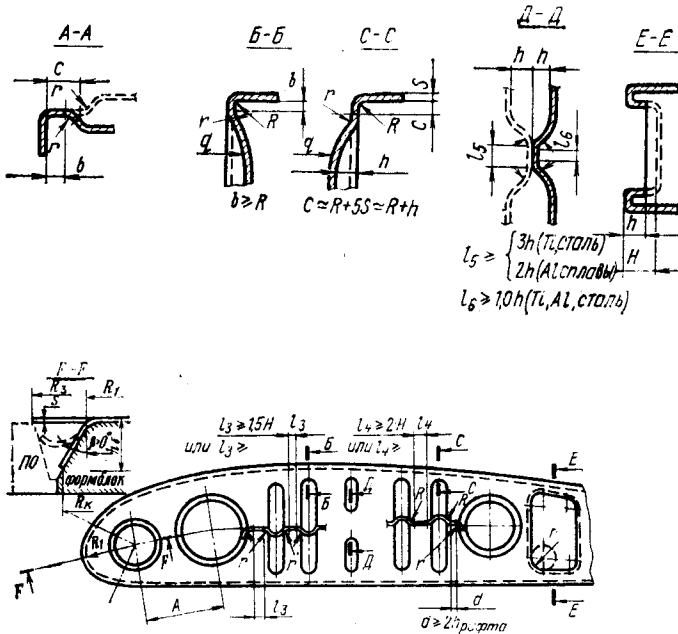


Рис. III.4.11. Расположение конструктивных элементов на деталях типа нервюр.

и c (сеч. А—А, Б—Б, С—С) назначать по ГОСТ 17040—71 в зависимости от диаметра отбортовки или глубины рифта.

Расстояние A между отбортовками разного диаметра определять как полусумму $\frac{A_d + A_D}{2}$, где A_d

и A_D — расстояния между отбортовками одинаковых диаметров d или D , оговоренные ГОСТ 17040—71.

Ненормализованные отбортовки (см. рис. III.4.11, сеч. Е—Е) проектировать в соответствии с ГОСТ 17040—71, принимая высоту (глубину) h угловых участков r одинаковой с высотой соответствующей круглой отбортовки диаметром $D(D_1)=2r$. При назначении глубины H ненормализованной отбортовки большей, чем глубина соответствующей нормализованной на участке r , первую проектировать в соответствии с рекомендациями, предъявляемыми к жесткостям.

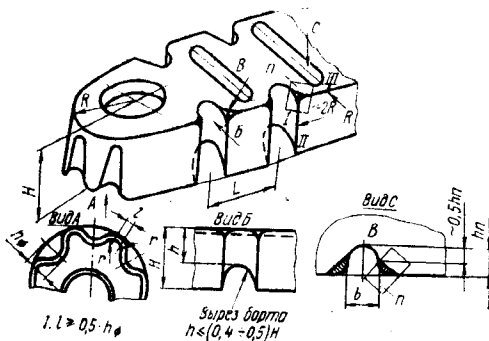


Рис. III.4.12.

Предельную высоту борта с глухими фестонами на участке R (рис. III.4.12) назначать из условия сохранения ширины перемычки l между фестонами, необходимой для размещения крепежного элемента (заклепки, сварки). На краю борта ширина перемычки l в любом случае не должна быть меньше половины глубины фестона в крайнем сечении (край борта). Если борта на детали запроектированы в разные стороны (рис. III.4.13), это при изготовлении приведет к дополнительной штамповочной операции.

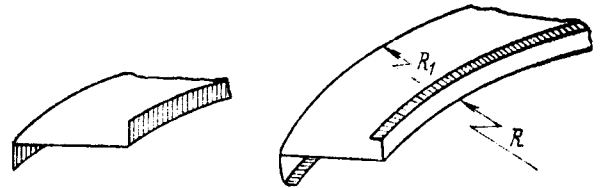


Рис. III.4.13.

На рис. III.4.14 представлена нетехнологичная нервюра. Ее изготовление требует нескольких операций штамповки и применения разъемного форм-блока.

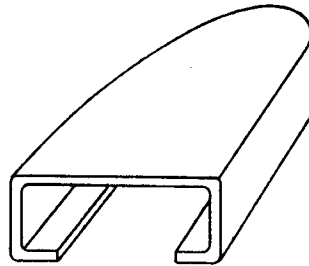


Рис. III.4.14.

Глубина элементов типа полукруглых подсечек на бортах нервюр, шпангоутов, диафрагм и т. п. не должна превышать $0,7b$ (b — ширина этого элемента, см. рис. III.4.12, вид С). Высоту борта h в зоне глубоких полукруглых подсечек рекомендуется принимать не более $(0,4-0,5)H$ (H — высота борта, см. рис. III.4.12, вид Б). Расстояние L между элементами типа полукруглых глубоких подсечек (см. рис. III.4.12) принимать не менее $3b$. Вершины B элементов типа глубоких подсечек притуплять в соответствии с рис. III.4.12, вид С.

При проектировании нервюр принимать схемы их размещения, обеспечивающие угол малки борта $\beta \geq 0^\circ$ в носке нервюры (рис. III.4.15), что уменьшает трудоемкость изготовления детали и оснастки.

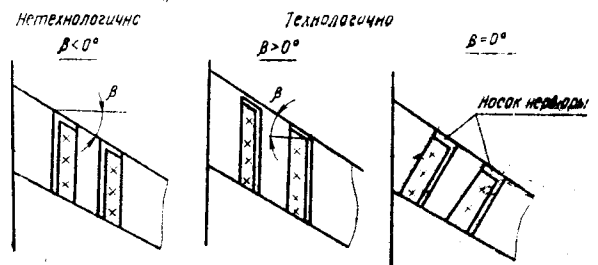


Рис. III.4.15. Схемы размещения нервюр.

Высота уступа h' на стенке нервюры (подсечка стенки) не должна превышать $\sim 1/3$ высоты борта h_b в зоне уступа (рис. III.4.16).

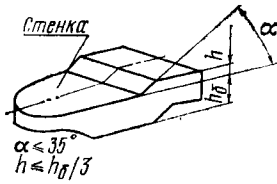


Рис. III.4.16.

Проектирование составных нервюр (четырёхрядный клепаный шов), одна из которых имеет в носке борт с открытой, другая — с закрытой малкой, для $|\beta| > 20^\circ$ (см. рис. III.4.17, слева) выполнять по схеме рис. III.4.17, справа. Если трёхрядный шов увеличивает степень вытяжки в носке нервюры выше значений, приведенных в табл. III.4.2, необходимо ввести разрезные фестоны (рис. III.4.17) при этом h — расчетная величина борта. Форма вырезов (фестонов) не нормализуется (должна обеспечивать постановку заданного ряда заклепок).

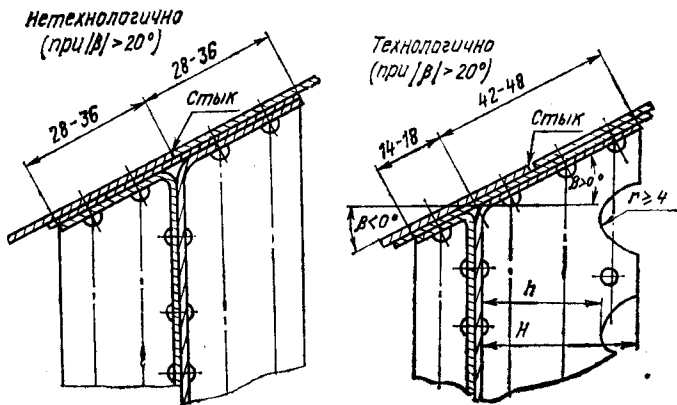


Рис. III.4.17.

Точность изготовления нервюр из алюминиевых сплавов может быть в пределах 5-го класса.

По конструктивному назначению отштампованные детали делятся на детали высокой, средней и низкой точности (см. рис. III.2.10 и табл. III.4.3)

В табл. III.4.2 приведены предельные значения выпуклых бортов при штамповке резиной на формблоках с применением упрощенной оснастки для предотвращения потери устойчивости — прижимных опор (ПО), проектирование которых выполняется по ОСТ 1.51813—76.

Детали, штампуемые с применением прижимных опор из заготовок без припусков, требуют обрезки борта на участках с наибольшей степенью вытяжки (носки нервюр, углы коробок и т. п.).

Детали, определяющие форму аэродинамической поверхности агрегатов (нервюры, шпангоуты, носки и хвостовики нервюр), должны иметь борта высокой точности.

Детали, имеющие жесткую опору в каркасе планера и крепящиеся к внутренним, неаэродинамическим поверхностям, а также детали, борт которых имеет малую жесткость, исключая возможность местного искажения аэродинамической поверхности, должны иметь борта средней точности.

Детали, не крепящиеся к каркасу планера, например детали с бортами жесткости, окантовки люков, детали с отверстиями облегчения, должны иметь борта низкой точности.

Таблица III.4.2
Предельные значения параметров h_b/R , K_k , K_o , при штамповке-вытяжке с применением ПО для Д16М, Д19М, В95М, АМг(2+6)М, АМцМ

Отно- сит. тол- щина заго- товki $\frac{s}{2R_3} \times 100\%$	Угол малки борта в сечении 3, град										
	60	45	30	25	20	15	0	-15	-20	-25	-30
0,4—0,5	2,0 1,12 5,0	1,40 1,25 3,0	1,10 1,35 2,2	1,0 1,4 2,2	0,9 1,45 2,1	0,8 1,5 2,1	0,7 2,0 2,0	0,6 1,9 2,0	0,5 2,0 1,9	0,45 2,1 1,9	0,4 2,1 1,8
0,6—0,7	2,5 1,12 6,0	1,5 1,25 3,0	1,2 1,35 2,3	1,1 1,4 2,3	1,0 1,5 2,2	1,0 1,6 2,1	0,9 2,1 2,1	0,7 2,2 2,1	0,65 2,3 2,0	0,6 2,4 2,0	0,55 2,4 1,9
0,8—0,9	3,0 1,12 7,0	1,8 1,25 3,5	1,3 1,4 2,4	1,2 1,45 2,4	1,2 1,6 2,3	1,1 1,65 2,2	1,0 2,1 2,1	0,8 2,4 2,1	0,75 2,5 2,0	0,7 2,6 2,0	0,65 2,7 1,9
1,0—1,1	3,5 1,12 8,0	1,8 1,25 3,5	1,4 1,45 2,5	1,3 1,5 2,5	1,3 1,6 2,4	1,2 1,7 2,3	1,1 2,2 2,2	0,9 2,5 2,2	0,85 2,7 2,1	0,8 2,9 2,0	0,75 3,1 2,0
1,2—1,3	4,0 1,13 9,0	2,2 1,28 4,0	1,6 1,45 2,7	1,5 1,5 2,6	1,4 1,65 2,5	1,3 1,75 2,4	1,2 2,3 2,3	1,0 2,7 2,2	0,95 3,0 2,2	0,9 3,3 2,1	0,85 3,7 2,1
1,4—1,5	5,0 1,14 11,0	2,2 1,28 4,0	1,9 1,5 3,0	1,7 1,55 2,7	1,6 1,7 2,6	1,5 1,8 2,5	1,3 2,4 2,4	1,1 2,9 2,3	1,05 3,2 2,2	1,0 3,5 2,2	0,95 3,8 2,1
1,6—1,7	—	2,2 1,28 4,0	1,9 1,5 3,0	1,8 1,6 2,8	1,7 1,7 2,7	1,6 1,85 2,6	1,5 2,6 2,6	1,2 3,0 2,4	1,1 3,3 2,3	1,05 3,7 2,2	1,0 4,3 2,2
1,8—1,9	—	2,2 1,28 4,0	2,0 1,5 3,1	1,9 1,6 2,9	1,8 1,8 2,8	1,7 1,9 2,7	1,6 2,7 2,7	1,3 3,1 2,5	1,2 3,5 2,4	1,1 3,9 2,3	1,05 4,5 2,2
2,0—2,1	—	2,5 1,3 4,5	2,0 1,5 3,1	2,0 1,6 3,0	1,9 1,8 2,9	1,8 1,9 2,8	1,7 2,8 2,8	1,4 3,3 2,6	1,3 3,7 2,5	1,2 4,3 2,4	1,1 5,1 2,3
2,2—2,4	$\frac{h_b/R}{K_x}$	2,5	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1
	$\frac{K_x}{K_0}$	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,8	3,3	3,7	4,3	5,1
	$\frac{K_0}{K_0}$	4,5	3,1	3,0	2,9	2,8	2,8	2,6	2,5	2,4	2,3

Примечания (см. рис. III.4.11):

1. $\frac{h_b}{R_1}$ — высота борта по чертежу детали — обобщенный показатель, предназначенный для конструкторско-технологических разработок. Определяет предельные возможности (без разрывов и гофров) вытяжки с применением ПО. Сеч. 3 см. сеч. F—F на рис. III.4.11.

2. $K_k = \frac{R_3}{R_k}$ — радиус заготовки в сеч. 3 (по ШРД или ШЗ) — радиус кромки борта в сеч. 3 — степень вытяжки конечная (расчетная). Технологический параметр, характеризующий предельные возможности предотвращения потери устойчивости при использовании ПО. Значения K_k , больше указанных в таблице, приводят к неустраняемым складкам.

3. $K_o = \frac{R_3}{R_1}$ — радиус заготовки в сеч. 3 (по ШРД или ШЗ) — радиус формблока в сеч. 3 (по ШВК) — степень вытяжки начальная, конструкторско-технологический параметр; характеризует возможность осуществления процесса вытяжки без разрушения фланца в начальной стадии. Пре- вышение K_o приводит к разрывам фланца в начальной стадии вытяжки.

Таблица III.4.3

Точность	A	A в специальных случаях	B и C, мм	D и E, мм	D и E в специальных случаях, мм
Высокая	$\pm 0^{\circ}45'$	$\pm 0^{\circ}30'$	0,008s	0,25	0,1
Средняя	$\pm 2^{\circ}$	$\pm 1^{\circ}30'$	0,015s	0,75	0,5
Низкая	$\pm 6^{\circ}$	$\pm 10 \div \pm 20^{\circ}$	0,06s	1,5	1,0

Отклонения от размеров для рассматриваемых деталей* из титановых сплавов и сталей должны быть:

— по радиусам сопряжения для номинальных размеров не менее указанных в табл. III.4.4;

— по малке борта при высоте борта до 30 мм (включительно) $\pm 1^{\circ}$, при высоте борта свыше 30 мм $\pm 30'$.

Таблица III.4.4

мм			
Радиус сопряжения	Отклонения	Радиус сопряжения	Отклонения
1—3	$\pm 0,5$	15—25	$\pm 3,0$
3—6	$\pm 1,0$	25—30	$\pm 4,0$
6—15	$\pm 2,0$	Св. 30	$\pm 5,0$

ЖЕСТКОСТИ

Детали из листа (плоской, одинарной или двойной кривизны), на поверхности которых имеются различной формы выдавки (прямоугольные или квадратные) либо совокупность рифтов, принято называть жесткостями. Такие детали предназначены для повышения устойчивости (жесткости) определенного участка или узла изделия.

Жесткости иногда являются частью обшивки (рис. III.4.18, з), деталями силового каркаса (рис. III.4.18, д), частью перегородок или полов (рис. III.4.18, е), дверей либо транспортных и других люков (рис. III.4.18, а, б).

Количество деталей типа жесткостей на некоторых изделиях значительно. Их изготовление может осуществляться:

— штамповкой гидроэластичной средой на прессах типа П5054 (см. табл. III.4.1);

— электрогидравлической штамповкой на прессах ПЭГ и установках УЭГП-150 (табл. III.4.5);

— штамповкой взрывом в установках бассейного типа;

* Отклонения размеров на отдельные конструктивные элементы для титановых сплавов указаны выше.

— штамповкой на листоштамповочных молотах в жестких штампах либо эластичной средой, в том числе с нагревом заготовки;

— изотермической штамповкой в керамических штампах на универсальных прессах.

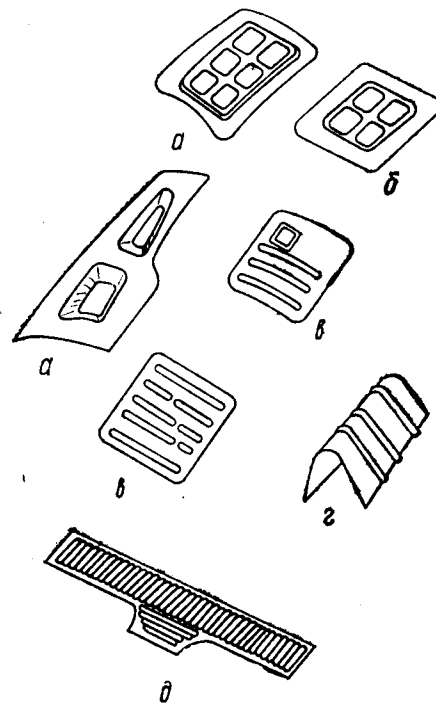


Рис. III.4.18. Типы жесткостей.

Из алюминиевых сплавов жесткости целесообразно формировать на оснастке (из балинита, дельта-древесины) с давлением деформирующей среды до 100 МПа.

Указанные прессы (см. табл. III.4.5) обеспечивают высокий уровень механизации работ. На них возможно осуществлять групповую штамповку. Трудоемкость жесткостей, формованных этим способом, наименьшая.

Таблица III.4.5

Наибольшие габаритные размеры деталей, штампуемых электрогидравлической штамповкой

Модель прессы	Размеры детали (длина×ширина), мм
ПЭГ-25	500×500
ПЭГ-100Н	1550×1150
ПЭГ-60М	1150×950
ПЭГ-150	1800×1300

Аналогичные детали можно также формировать электрогидравлической штамповкой на ПЭГ-25, -100Н, -150 при давлении от 60 до 100 МПа. Наибольшие габаритные размеры жесткостей могут быть 1800×1300 мм (см. табл. III.4.5).

Указанные детали могут быть изготовлены на листоштамповочных молотах в жестких штампах или в контейнерах с гидроэластичной средой. Габ.

ритные размеры деталей в этом случае определяются размерами столов и контейнеров к ним (см. табл. III.4.6). Однако трудоемкость изготовления деталей на листоштамповочных молотах в 1,3–1,5 раза выше трудоемкости их изготовления на специализированных гидропрессах.

Крупногабаритные жесткости могут быть изготовлены штамповкой взрывом.

Геометрические размеры штампуемого участка (выдавки) проектировать с учетом относительного удлинения материала заготовки. При изготовлении жесткостей на листоштамповочных молотах для выдавок, штампуемых с частичным перемещением фланца заготовки (рис. III.4.19, б, выдавки № 1–8) принимать

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \leq \epsilon,$$

где δ — среднее относительное удлинение заготовки на базе l_0 выдавки (рис. III.4.19, а);

ϵ — полное относительное удлинение материала при испытаниях на растяжение.

Для выдавок, штампуемых с защемленным фланцем (выдавка № 9, рис. III.4.19, б), принимать

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \leq 0,75 \epsilon.$$

Для этого предусмотреть увеличение на 30–40% параметров R и γ по сравнению с R и γ выдавок № 1–8.

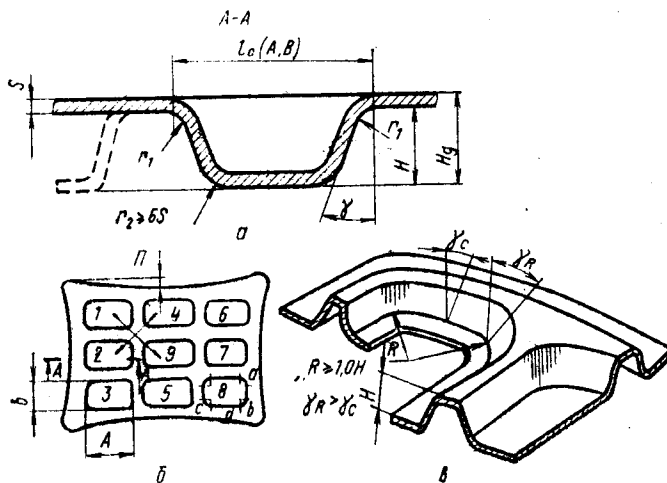


Рис. III.4.19.

Стенки выдавок ab и cd (см. рис. III.4.19, б) проектировать с минимальным уклоном 15° . В углах выдавок (сечения 1–9, 2–4 и т. д., рис. III.4.19, б, в) назначать больший уклон — до 22° .

Радиус сопряжения боковых стенок выдавки R должен быть не менее $1,5H$ (рис. III.4.19, в).

Наибольшую глубину выдавки H (рис. III.4.19, а) для материалов Д16М, Д19М, В95М, АМг2М, АМг6М толщиной $s = 0,6 \div 1,0$ мм назначать не более $(0,12 \div 0,14)B$, а толщиной $s = 1,2 \div 2,0$ мм $H \leq (0,15 \div 0,17)B$, где B — меньшая сторона прямоугольной выдавки или наименьший размер в плане (рис. III.4.20).

Ширину перемычек a между выдавками выполнять, как показано на рис. III.4.21, справа. Значение радиуса $r_1 \geq 0,3H$ (рис. III.4.21).

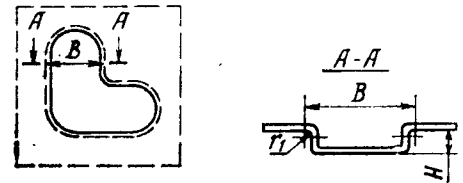


Рис. III.4.20.

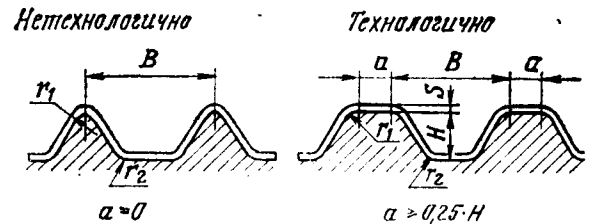


Рис. III.4.21.

При штамповке жесткостей резиной (уменьшение трудоемкости в 1,5–2 раза по сравнению с трудоемкостью изготовления на листоштамповочном молоте) частичного перемещения фланца не происходит (см. рис. III.4.18, б), поэтому заданный рельеф выдавок получают с предварительным набором материала, чаще всего за два перехода.

Технологические возможности штамповки резиной жесткостей с выдавками прямоугольной формы в плане определяются зависимостью (при $R \geq H$)

$$\delta = \frac{h}{R + 0,8h + 1,8H \operatorname{tg} \gamma} = \frac{H - 0,5(r_1 + r_2)}{R + 0,8H - 0,4(r_1 + r_2) + 1,8H \operatorname{tg} \gamma}.$$

Приближенно при $\gamma = 8 \div 12^\circ$

$$\delta \approx 1 - \frac{R}{R + H - C},$$

где $C = 0,5(r_1 + r_2)$, $h = H - C$;

R — угловой радиус выдавки в плане;

$\delta = \epsilon$ — для однопереходной штамповки (без предварительного набора материала);

$\delta = 2\epsilon$ — для штамповки с набором материала (ϵ — равномерное удлинение материала при одноосном растяжении).

Точность жесткостей из алюминиевых сплавов при штамповке их с удельным давлением более 100 МПа может быть достигнута 5-го класса.

Из титановых сплавов ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4-1, ОТ4, обладающих удовлетворительной пластичностью при комнатной температуре, указанными выше способами можно получить жесткости только с неглубокими прямыми рифтами или криволинейными рифтами с плавным их изгибом. Геометрия рифтов должна удовлетворять технологическим требованиям, изложенным выше. При этом может быть обеспечена их точность контура не выше 7-го класса.

Из титановых сплавов ВТ5-1, ВТ6с и ВТ14 жесткости можно получать с нагревом заготовок в жестких штампах или гидроэластичной средой на листоштамповочных молотах. Габаритные размеры жесткостей должны соответствовать возможностям молотов (табл. III.4.6).

Таблица III.4.6

Размеры рабочих столов листоштамповочных молотов
мм

Модель молота	Размеры стола (длина×ширина)	Наименьшая площадь штампа
МЗ139	900×700	300×300
МЗ142	1200×900	600×500
МЛ-3	1700×1200	1200×850
МЛ-5	3100×1800	2200×1275
МЛ-3М*	1700×1200	2200×1275

* С гидроконтainerом размером 500×900 мм.

Из высокопрочного титанового сплава ВТ20 жесткости могут быть получены изотермической штамповкой с использованием керамических штампов, габаритные размеры деталей при этом не должны быть более 500 мм.

Геометрия и размеры прямоугольных выдавок жесткостей, штампуемых в горячем состоянии, могут соответствовать геометрии и размерам для дюралевого деталей.

При проектировании жесткостей типа гофрированных панелей разнообразного конструктивного оформления (плоские, одинарной и двойной кривизны, с перегибом по гофрам и фланцу и т. п.) (см. схему) из нержавеющей сталей ЭИ878, СН-3, ВНС-2 и ВНС-4 следует использовать унифицированные размеры элементов гофра, представленные на рис. III.2.18, а для толщин 0,8—2,0 мм.

Классификация гофрированных панелей					
Форма поверхности детали					
Форма детали в плане	Плоская		Одинарной кривизны		Двойной кривизны
	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия
	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия
	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия
	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия	Прямая линия

Сварной шов располагать ближе к сходу законцовки рифтов при проектировании гофрированных панелей переменной толщины.

Формообразование жесткостей с синусоидальными гофрами (см. рис. III.2.18, а) осуществляется в

результате утонения материала. При этом максимальное утонение гофра может достигать 18—20%.

Гофрированные жесткости с габаритными размерами 200×200 мм можно получать только двух-трехпереходной штамповкой. Число переходов и степень пластического деформирования заготовок из материалов типа ЭИ878 для каждого перехода приведены в табл. III.4.7.

Таблица III.4.7

Материал	Количество гофров	Степень деформации при полном деформировании, %	Степень деформации по переходам, %		
			I	II	III
ЭИ878	До 4	20	12	6	2
СН-3	До 4	20	16	4	—
	Св. 4	20	12	6	2

Штамповку гофрированных жесткостей из сталей ЭИ878, СН-3, ЭИ703 и других, близких по своим физико-механическим свойствам, рационально производить гидроэластичными средами на прессах типа П5054 (см. табл. III.4.1), а также на электрогидравлических прессах типа ПЭГ (см. табл. III.4.5) и штамповкой взрывом с применением промежуточных термообработок материала. Названные методы обеспечивают изготовление жесткостей по 7-му классу точности (АН-722АТ).

Эти детали могут быть также изготовлены на листоштамповочных молотах в жестких штампах либо в контейнерах с эластичной средой. Однако в этом случае необходима ручная доводка, точность деталей не выше 5-го класса.

Гофрированные жесткости из титановых сплавов ВТ1, ОТ4-1 и ВТ14 можно формообразовывать либо холодной штамповкой эластичными средами с применением промежуточных отжигов, либо штамповкой на листоштамповочных молотах с нагревом заготовки; из сплавов ОТ4-0, ВТ6с формообразование гофрированных жесткостей возможно только с нагревом заготовок. Рациональным методом изготовления указанных жесткостей из ВТ14 и ВТ20 является изотермическая штамповка в керамических штампах. Размеры жесткостей в этом случае не должны быть более 500×500 мм.

Конструктор при проектировании жесткостей, выборе габаритных размеров детали в соответствии с возможностями различных методов их изготовления должен учитывать экономические показатели — трудоемкость самой детали и длительность цикла обработки, затраты на изготовление оснастки, а также показатели точности. В табл. III.4.8 для жесткости из стали ВНС-2 толщиной 1,5 мм даны сравнительные экономические показатели, которые помогут конструктору оценить приемлемость того или иного процесса.

Таблица III.4.8

Сравнительные экономические данные штамповки жесткости различными методами

Метод изготовления и оборудование	Точность, класс	Условная трудоемкость	Длительность цикла изготовления	Условная стоимость комплекта оснастки
Холодная штамповка на ЭГШ	5	1	1	1
Холодная штамповка на листоштамповочных молотах (МЛ)	7	5	10	2
Штамповка на МЛ с нагревом заготовки	7	1	5	2
Изотермическая штамповка в керамических штампах	4	1	0,5	10

ОКАНТОВКИ

Детали из листа, предназначенные для увеличения жесткости проемов дверей, окон, транспортных и другого назначения люков, называются окантовками. Эти детали характеризуются наличием замкнутого рифта, обеспечивающего необходимую жесткость сечения и фланцевой части, предназначенной для их крепления с другими деталями либо узлами изделия. Так как проемы, вокруг которых устанавливаются окантовки, могут размещаться на агрегатах самолета с различной кривизной, фланцевая часть рассматриваемых деталей может также иметь различную кривизну.

Сечение окантовок может быть коробчатой, сфероидальной формы, а также других видов (рис. III.4.22, а, б, в, г). При штамповке окантовок

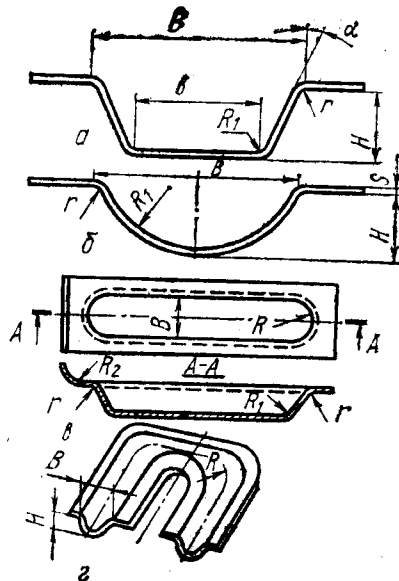


Рис. III.4.22. Сечения окантовок.

формообразование сечения происходит за счет перемещения материала с фланцевой части и утонения материала. Геометрические параметры деталей — глубина H и ширина B профиля сечения,

радиус закругления у фланца r_d , а также радиус сопряжения прямолинейных участков R и угол наклона стенок α являются определяющими параметрами для оценки технологичности деталей типа окантовок.

При проектировании окантовок следует выбирать такие их размеры, чтобы формообразование можно было бы осуществить за один переход; при соблюдении этого требования окантовки будут технологичными. В табл. III.4.9 приведены предельные значения соотношений глубины и ширины профиля деталей (показатели формуемости).

Таблица III.4.9

Способ формообразования	Схема процесса	Показатель формуемости сечения окантовки K^*
С прижимом заготовки и перемещением фланца		$\leq 0,40$
Без перемещения фланца		$\leq 0,20$

* $K = \frac{H_{\max}}{B_{\min}}$ — для сечения окантовок коробчатой формы.
 $K = \frac{H}{d}$ — для сферической формы.

Если необходима конструкция окантовки с соотношением размеров, больше указанных, конструктор должен иметь в виду, что ее изготовление механизированными способами возможно только за несколько переходов с промежуточными термообработками, а это приведет к удлинению цикла и повышению себестоимости детали.

Предпочтительные значения радиуса закругления у фланца детали r приведены в табл. III.4.10.

Таблица III.4.10

Относительная глубина профиля детали $\frac{H}{D}; \frac{H}{B}$	Материал	Радиус закругления у фланца r , мм
До 0,2	Сплавы алюминиевые, стали Сплавы титановые	(4—5) s (5—7) s
Свыше 0,2 до 0,4	Сплавы алюминиевые, стали	(7—10) s (5—7) s

Радиус сопряжения дна и стенки R следует выбирать в зависимости от глубины детали H и угла наклона стенки α . На рис. III.4.23 дан график,

устанавливающий зависимость радиуса сопряжения дна и стенки R и угла наклона стенки α относительно вертикальной оси при соотношении $\frac{H}{B} \leq 0,1$.

Окантовки можно формообразовывать гидроэластичными средами по формблокам или по упрощенным матрицам на специализированных гидропрессах типа П5054 (см. табл. III.4.1), электрогидравлической штамповкой на прессах ПЭГ (см.

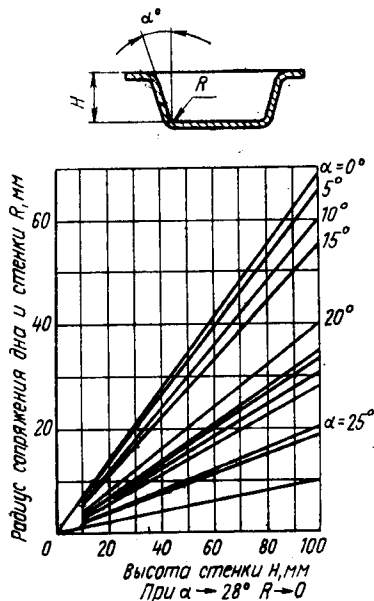


Рис. III.4.23. Зависимость радиуса сопряжения дна и стенки R от глубины H и угла наклона α относительно вертикальной оси.

табл. III.4.5), на гидродинамических молотах МЛГ (см. табл. III.4.6), а также в жестких штампах на листоштамповочных молотах. Крупногабаритные окантовки, размеры которых превышают возможности указанного оборудования, могут быть изготовлены на цинковых матрицах штамповкой взрывом в бассейновых установках.

При формообразовании указанными методами наибольшее утонение материала имеет место в вершине выпуклых частей криволинейных поверхностей и в местах пересечения дна и стенки детали.

При соблюдении соотношений $\frac{H}{B} \leq 0,1$ и $\frac{H_1}{B_1} \leq 0,3$ максимальное значение утонения для этих участков не превышает 22%, где $\frac{H}{B}$ характеризует степень деформации в начальный период формообразова-

ния, а $\frac{H_1}{B_1}$ характеризует степень деформации в конце процесса, когда уже оформлен рельеф всей детали.

Радиус R сопряжения прямых участков окантовки должен быть не менее 1,5 высоты рифта: $R \geq 1,5 H$. При штамповке эластичными средами уменьшение этого радиуса ведет к чрезмерно быстрому износу рабочих эластичных элементов оборудования.

При проектировании окантовок с учетом возможностей их производства электрогидравлической штамповкой на прессах ПЭГ необходимо учитывать, что наибольшая толщина детали определяется ее кривизной, прочностью материала и формой рифта (рис. III.4.24 и III.4.25, слева для цилиндрической канавки; справа для сферической пуклев-

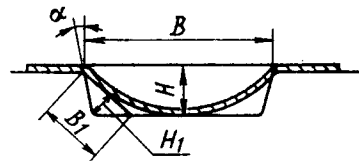


Рис. III.4.24. Схема элемента «дно — стенка».

ки). Точность деталей при удовлетворении указанных условий соответствует 5-му классу, шероховатость их поверхности в пределах $Rz \sqrt{\quad}$.

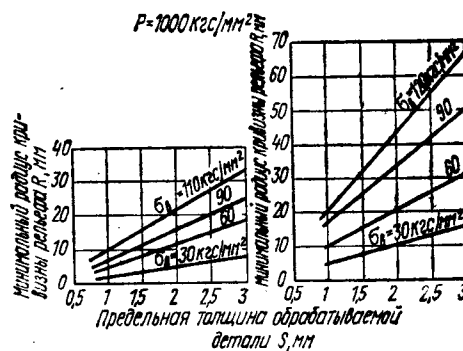


Рис. III.4.25.

Условия выбора метода формообразования окантовок из титановых сплавов и сталей аналогичны условиям выбора методов формообразования жесткостей.

Глава 5. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ КАРКАСА ИЗ ПРОФИЛЕЙ

Для обеспечения технологичности деталей из прессованных профилей рекомендуется:

— максимально использовать нормальные прессованные профили, освоенные металлургическими заводами, скосы на полках профилей выполнять по прямой (рис. III.5.1), угол скоса α унифицировать ($\alpha = 45; 60; 75^\circ$);

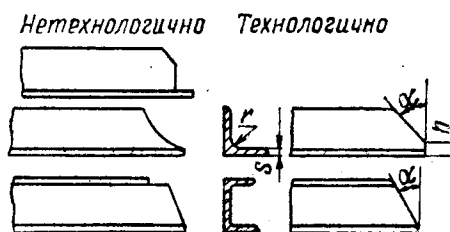


Рис. III.5.1. Скосы на деталях из профилей.

— вырезы облегчения в полках унифицировать желательно по размерам впадин L и h (рис. III.5.2), что позволит исключить разметку и фрезерование, заменив их просечкой в штампе;

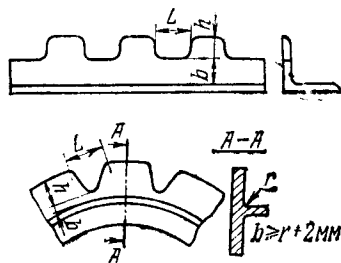


Рис. III.5.2.

— в деталях типа стоек отверстия под заклепки располагать с шагом t (рис. III.5.3), кратным 5 мм, что даст возможность пробивать отверстия групповыми штампами или сверлить их на станках, оборудованных многшпиндельными головками.

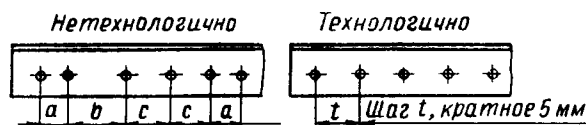


Рис. III.5.3. Схема расположения отверстий под заклепки на деталях профилей.

Детали продольного и поперечного наборов, имеющие закрутку или изогнутые в нескольких плоскостях, рекомендуется изготавливать из листового материала.

ДЕТАЛИ С ПОДСЕЧКАМИ

Размеры подсечек (рис. III.5.4) на деталях из прессованных профилей из сплавов Д16, В95 выполнять по нормали 151СТ53, на деталях из прессованных профилей из титановых сплавов, сталей и магниевых сплавов — по РТМ-1526-75 и РТМ-1527-75. Допускается искажение сечения профиля после его подсечки $\Delta h = 0,01b$ (рис. III.5.5), где b — ширина подсеченной полки.

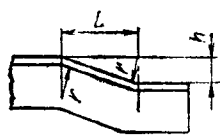


Рис. III.5.4.

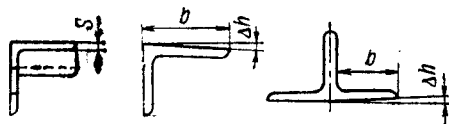


Рис. III.5.5.

Непараллельность подсеченной полки профиля допускается в пределах $h - h_1 = \pm 0,1$ (рис. III.5.6), где h_1 — глубина подсечки на расстоянии 15 мм от зоны подсечки; h — глубина в зоне подсечки.



Рис. III.5.6.

Косые подсечки применять в крайних случаях. Двустороннюю и двойную (ступенчатую) подсечки производить со смещением. Минимальное расстояние l между зонами подсечки при $s \leq 4$ мм должно быть 50 мм, при $s > 4$ мм — 60 мм.

Клеймо ОТК ставить не ближе 30 мм от зоны подсечки (см. пример на рис. III.5.7).

У деталей из прессованных профилей типа швеллера, двутавра подсечка на ребро не допускается (рис. III.5.8). Детали из трапецевидных швеллеров (рис. III.5.9) подсекать в штампах также не допускается. Подсечка выполняется механической обработкой.

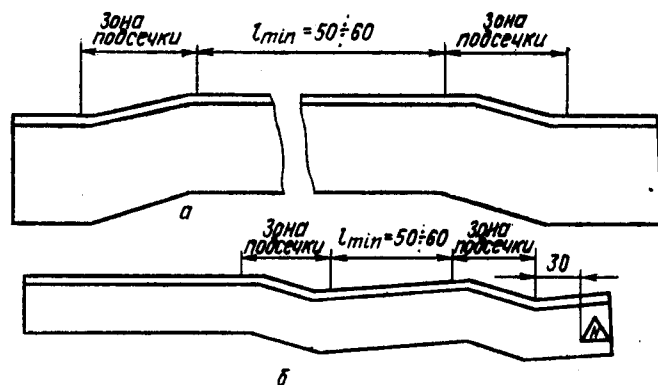


Рис. III.5.7. Виды подсечек:
а — двусторонняя; б — ступенчатая.

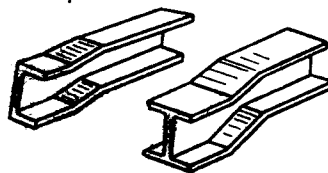


Рис. III.5.8.



Рис. III.5.9.

МАЛКОВАННЫЕ ДЕТАЛИ

Размеры предельных углов малковки открытых α_1 и закрытых α_2 (рис. III.5.10) прессованных профилей из сплавов Д16, В95 выполнять по нормали 181СТ54, из сплава ВМ65-1 — по нормали 182СТ5.

При закрытой малке величина y (рис. III.5.11, б) не оговаривается и не проверяется. При открытой малке разрешается снимать выступающую часть профиля на величину x (рис. III.5.11, а), после чего производить антикоррозионную защиту.

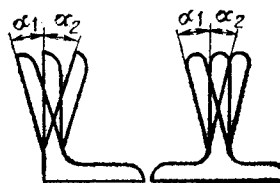


Рис. III.5.10.

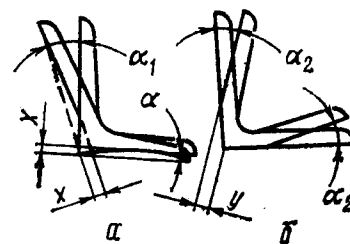


Рис. III.5.11. Виды малковок:
а — открытая; б — закрытая.

Малковка прессованных профилей в пределах до $\pm 3^\circ$ не создает больших искажений поверхности полок и не требует ручной доработки, более $\pm 3^\circ$ может быть допущена для деталей, если искажение не отражается на работе конструкции.

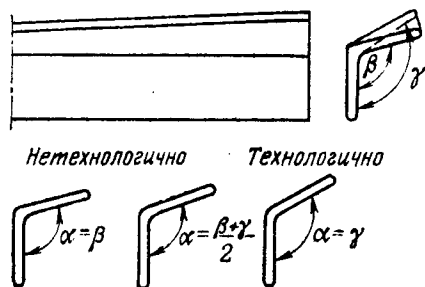


Рис. III.5.12.

Для изготовления деталей с переменной малкой заказывать малкованный профиль с углом α , равным большему углу детали (рис. III.5.12), так как закрытые малки требуют меньшей доработки.

МЕЛКИЕ ДЕТАЛИ

Мелкие детали типа технологических компенсаторов из прессованных профилей рекомендуется унифицировать по длине и форме. Мелкие соединительные детали следует выполнять из листового материала вместо прессованных профилей (рис. III.5.13).

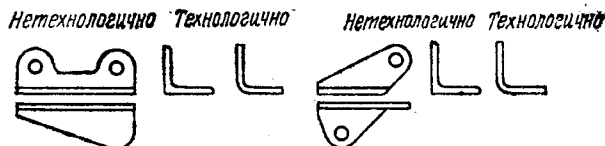


Рис. III.5.13. Примеры замены прессованных профилей на профили из листового материала для изготовления соединительных деталей.

ДЕТАЛИ ПРОДОЛЬНОГО НАБОРА

Детали продольного набора конической части фюзеляжа должны иметь кривизну в одной плоскости, для чего разбивку стрингеров на плазе совмещенных сечений рекомендуется выполнять по прямым лучам с постоянным угловым шагом (рис. III.5.14). Детали продольного набора крыла не должны иметь закрутки.

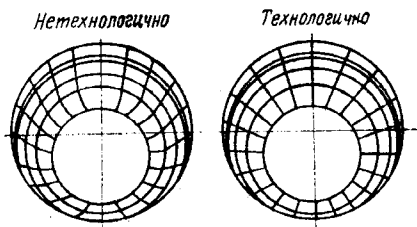


Рис. III.5.14. Схема разбивки стрингеров носовой части фюзеляжа.

Образующие обвод детали продольного набора, выполненные из прессованных профилей с полкой, имеющей кривизну в поперечном направлении,

следует проектировать из нормализованных профилей с радиусом кривизны полки R_n (прилегающей к обшивке), равным (или меньше) минимальному радиусу контура агрегата (рис. III.5.15)

$$R_n \leq \frac{d}{2}$$

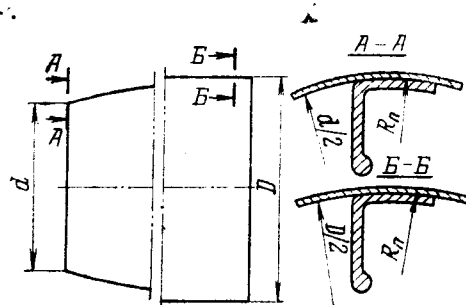


Рис. III.5.15.

ДЕТАЛИ ПОПЕРЕЧНОГО НАБОРА

Криволинейные детали поперечного набора рекомендуется проектировать из профилей симметричного сечения. Детали из прессованных профилей поперечного набора агрегатов должны соединяться со стрингером непосредственно или через технологические компенсаторы, а с обшивкой — через технологические компенсаторы из листового материала (рис. III.5.16).

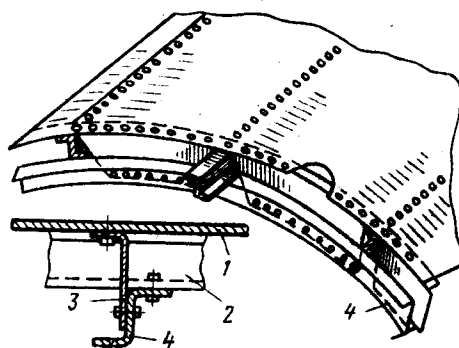


Рис. III.5.16. Соединение деталей поперечного набора со стрингерами и обшивкой:

1 — обшивка; 2 — стрингер; 3 — компенсатор; 4 — пояс шпангоута.

В крупногабаритных шпангоутах фюзеляжей из прессованных профилей с большой высотой стенки в плоскости изгиба не рекомендуется выполнять вырезы под стрингеры в теле шпангоута.

Не рекомендуется применять детали из профилей, сечение которых несимметрично относительно плоскости изгиба. Рекомендуется применять профили, сечение которых имеет симметрию относительно плоскости изгиба или относительно плоскости, перпендикулярной плоскости изгиба.

Криволинейные детали из швеллерных и двутавровых профилей, изогнутых на ребро, с переменным радиусом кривизны применять не рекомендуется (рис. III.5.17).

Рекомендуемые наименьшие радиусы при изгибе профилей:

а) полкой внутрь — не менее $6H$ (рис. III.5.18);

б) полкой наружу — не менее $5H$ (рис. III.5.19), где H — высота полки профиля в плоскости изгиба.

При проектировании профильных деталей, изготовляемых методом гибки с растяжением, радиус изгиба рекомендуется предусматривать $R > 10H$, а угол изгиба — не более 180° (рис. III.5.20).

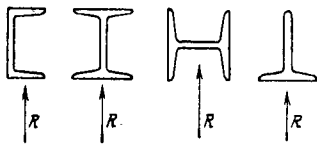


Рис. III.5.17.

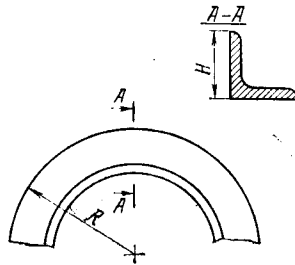


Рис. III.5.18.

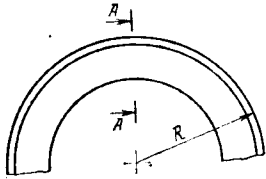


Рис. III.5.19.

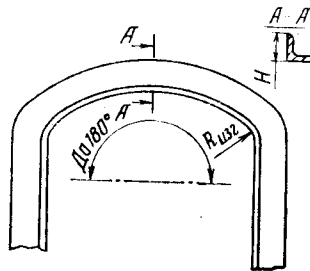


Рис. III.5.20.

Детали силового каркаса фюзеляжей, гондол рекомендуется выполнять из профилей, сечение которых представляет собой геометрическую форму, симметричную относительно плоскости кривизны либо симметричную относительно плоскости, перпендикулярной плоскости кривизны.

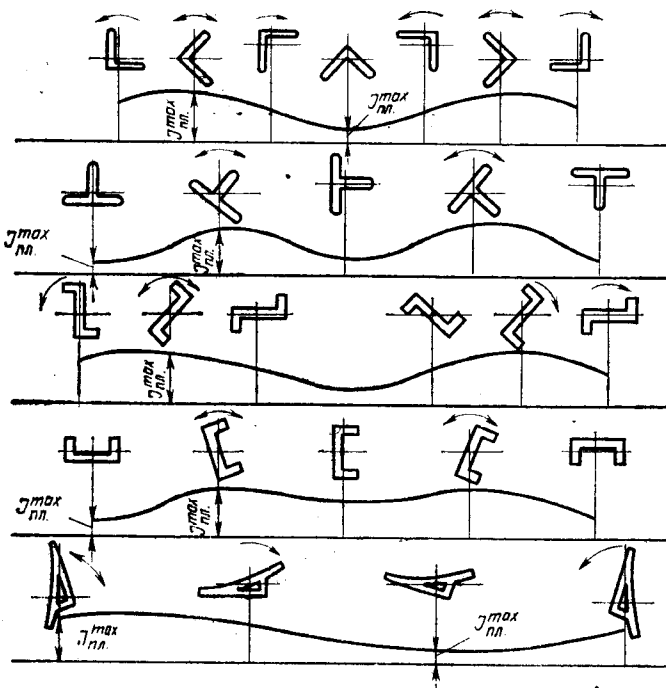


Рис. III.5.21.

Профили несимметричных сечений относительно плоскости кривизны при изгибе получают значительные искажающие деформации закрутки, правка которых представляет трудоемкие ручные работы.

Направление искажающих деформаций закрутки профилей несимметричных сечений при их изгибе определяется согласно схеме, приведенной на рис. III.5.21. Деформации закрутки профилей несимметричных сечений развиваются в сторону уменьшения сопротивления профиля изгибу.

Значение деформаций закрутки профилей зависит от состояния неуравновешенности тангенциальных напряжений сечения профиля относительно плоскости изгиба, и деформации развиваются до установления состояния равновесия тангенциальных напряжений относительно плоскости изгиба.

Для устранения образования искажающих деформаций закрутки профилей применяется изгиб в двух взаимно перпендикулярных плоскостях: заданной и ей перпендикулярной — одновременно за одну операцию либо раздельно за две операции.

Наиболее перспективным является применение в конструкциях деталей из профилей, сечение которых при конструктивной необходимости несимметричной формы относительно плоскости кривизны имеет симметрию относительно плоскости, перпендикулярной плоскости кривизны.

ДЕТАЛИ ИЗ ТИТАНОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

В качестве заготовок профильных деталей могут быть использованы:

- а) прессованные профили с припуском по сечению до 2—3 мм на сторону;
- б) прессованные профили точных размеров сечений;
- в) сварные профили, сваренные из листовых полос АрДЭС сквозным проплавом (рис. III.5.22);
- г) гнутые листовые профили с наплавленной вершиной угла (рис. III.5.23).



Рис. III.5.22. Определение направления деформаций закрутки профилей в зависимости от направления изгиба.

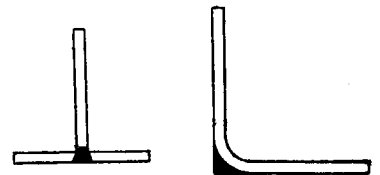


Рис. III.5.23.

Профильные заготовки из титановых сплавов, особенно сварные, имеют пониженную пластичность (на 30—40% ниже пластичности основного металла) и могут быть разделены на две группы: сплавы ОТ4, ВТ22 с пониженной пластичностью; сплавы ВТ14, ВТ20 с низкой пластичностью.

Прессованные и сварные профильные заготовки из сплавов ВТ14, ВТ20 рекомендуется применять

Разрушающие и допустимые относительные радиусы сгиба профилей из сплавов ОТ4, ВТ20, ВТ22 в холодном и горячем состояниях

Направление изгиба профиля	Сплав	Толщина вертикальной полки, мм	Разрушающие и допустимые относительные радиусы сгиба профилей при гибке			
			холодной		горячей	
			$R_{отн}$ (разрушающие)	$R_{отн}$ (допустимые)	$R_{отн}$ (разрушающие)	$R_{отн}$ (допустимые)
От полки (с растяжением полки)	ОТ4	—	3—3,5	6—9	1,5	2,5—3
	ВТ20	—	6	12—15	3	5—6
	ВТ22	—	4,5—5	9—10	1,5	2,5—3,5
На полку (с посадкой полки)	ОТ4	1,5; 2	2,8—4 3,0—3,5	8 6—9	1,5	2,5—3
	ВТ20	1,5; 2 и более	2,8—4 6	8 6	3	5—6
	ВТ22	1,5; 2 и более	2,8—4 4,5—5	8 4,5—5	1,5	2,5—3,5

Примечание. Относительный радиус сгиба профиля определяется как отношение внутреннего радиуса сгиба профиля $R_{вн}$ к высоте изгибаемой полки профиля $R_{отн} = \frac{R_{вн}}{h}$.

для деталей с малыми деформациями — не более 1% или для прямолинейных деталей. В местах деформации заготовки должны иметь шероховатость поверхности до 5—6-го классов.

При деформировании профильных заготовок из титановых сплавов с нагревом не рекомендуется применять детали:

а) больших длин (до 5—7 м), подвергающиеся обработке с нагревом на всей длине (ввиду отсутствия оборудования для нагрева указанных деталей);

б) имеющие местные изгибы с малыми относительными радиусами до 5—6;

в) больших длин с угловыми переломами без радиусов сгиба.

При деформировании профильных заготовок из титановых сплавов не рекомендуется применять профили, имеющие сложные контуры сечения с большим количеством полков в разных плоскостях.

При деформировании профильных заготовок изгибом допустимые относительные радиусы сгиба $R_{отн} = \frac{R_{сг}}{h}$ должны быть не менее указанных в таблице.

Малковку и подсежку профилей из титановых сплавов ОТ4, ОТ4-1; ВТ20, ВТ22, ВТ14 производить в соответствии с РТМ-1525—75, РТМ-1526—75, РТМ-1527—75.

Глава 6. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ИНТЕРЬЕРА ИЗ АЛЮМОПЛАСТОВ

К деталям интерьера как к элементам архитектуры предъявляются повышенные требования к качеству декоративной поверхности и четкости конструктивных элементов.

Наличие декоративной неметаллической пленки на поверхности алюминиевого листа (Д16М, АМг2Мп.ч.) ограничивает технологические возможности формообразования деталей из этого материала в процессе изготовления деталей исключает их промежуточный отжиг для восстановления пластичности металлической основы, декоративная пленка воспринимает деформации сжатия (посадки) только до 4%. Повышение этой величины приводит к отслаиванию пленки как в процессе формообразования детали, так и в процессе ее последующей эксплуатации. В связи с этим штамповка деталей из алюмопластов производится главным образом по схеме двухосного растяжения.

Технологичность деталей интерьера определяется такими конструктивными элементами или сочетанием элементов, для качественного формообразования которых достаточен запас пластичности металлической основы алюмопласта (без восстановления пластичности в результате отжига). Механические свойства металлической основы должны составлять $\sigma_b \geq (15+17) \cdot 10^7$ Па; $\delta_{10} \geq 25\%$. Минимальный радиус сгиба алюмопластов на основе сплава АМг2Мп.ч. составляет 3 S, сплава Д16М — 2 S.

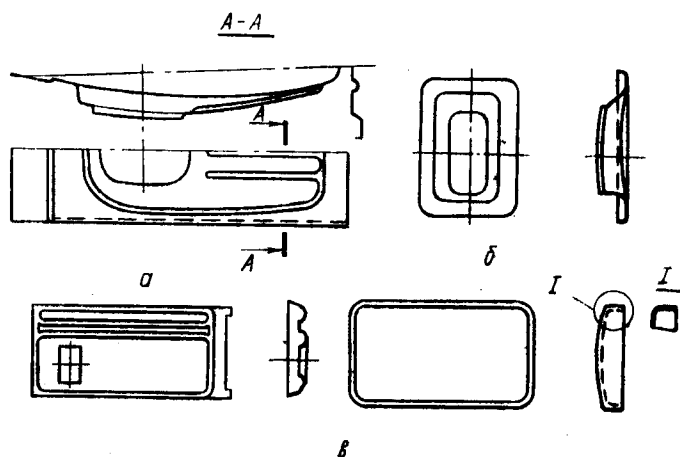


Рис. III.6.1. Элементы интерьера из алюмопласта:

а — оконная панель; б — рамка оконной панели; в — элементы типа коробок.

Характерные типы деталей, изготавливаемых из алюмопластов, показаны на рис. III.6.1.

Детали из алюмопластов следует изготавливать штамповкой эластичной средой на прессах типа QRD-600, П-5054 (см. табл. III.4.1) и другом аналогичном оборудовании, а также на прессах для ЭГШ (см. табл. III.4.5).

В целях сохранения в процессе формообразования декоративных свойств и обеспечения высокого

качества деталей штамповка их производится в металлической оснастке (в формблоках из стали и чугуна). При этом точность деталей соответствует 5-му классу.

Детали типа коробок, имеющие сравнительно небольшие размеры, могут быть изготовлены штамповкой в инструментальных штампах.

ОКОННЫЕ ПАНЕЛИ

При проектировании деталей в целях обеспечения их технологичности рекомендуется:

— максимальная глубина деталей H (стрела прогиба) не более 150 мм (рис. III.6.2, таблица);

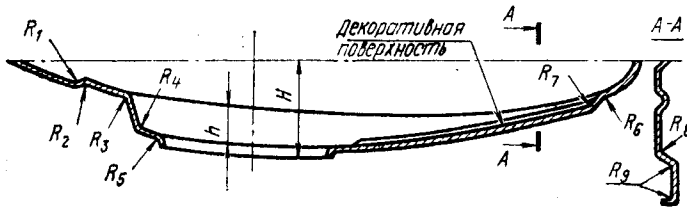


Рис. III.6.2. Оконные панели.

— размеры деталей в плане назначать из условия обеспечения безопасной работы деформирующей подушки гидропресса (расстояние от края лотка стола до формблока должно быть не менее $2,5 H_{\max}$);

— глубина H оконного проема не более 60 мм;

— стенки выштамповываемого оконного проема (участка) с уклоном 30° ;

— радиусы сопряжений характерных элементов (детали), определяющих стабильность результатов формообразования и получение качественных деталей, назначать в соответствии с таблицей (см. рис. III.6.2);

мм								
R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9
не менее								
6	6	6	12	5	5	8	8	6

— конструктивно-геометрические элементы жесткостей в виде рифтов на оконных панелях и других деталях интерьера назначать также в соответствии с таблицей.

РАМКИ ОКОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Для обеспечения технологичности деталей типа рамок оконных панелей, характеризующихся переменным уклоном боковой стенки и широким фланцем, необходимо учитывать следующее:

— минимальный уклон боковой стенки выполнять равным 28° (рис. III.6.3);

— высота детали H (с учетом стрелы прогиба) не должна превышать 50 мм;

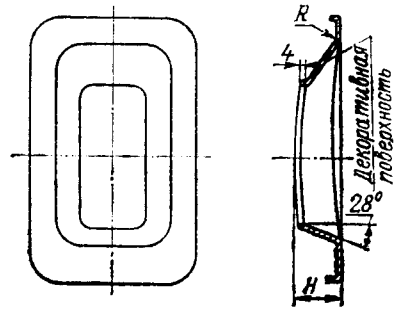


Рис. III.6.3. Рамки оконных проемов.

— радиус сопряжения фланца с боковой стенкой должен составлять не менее 6 мм;

— высота отбортовываемого пояса должна быть не более 4 мм.

ДЕТАЛИ ТИПА КОРОБОК

При проектировании деталей типа откидных панелей, створок багажных полок, панелей динамика и других аналогичных деталей, представляющих собой прямоугольные в плане коробки (рис. III.6.4), необходимо руководствоваться следующим:

— радиус R сопряжения боковых стенок в плане брать равным $0,9H$, где H — глубина детали;

— радиусы сопряжений боковых стенок с дном должны быть не ниже 6 мм (R_1) по внутреннему контуру детали;

— максимальная глубина деталей типа панелей динамика, имеющих поперечный сквозной рифт в донной части, не должна превышать 25 мм;

— стенки панелей динамика и откидных панелей должны иметь уклон не менее 22° ;

— максимальная высота отбортовываемых кромок фасонных отверстий в донной части деталей должна составлять не более 5 мм.

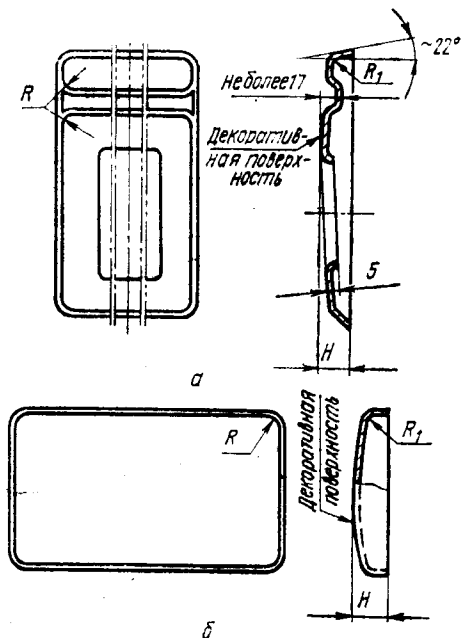


Рис. III.6.4. Детали типа коробок:

а — откидная панель (панель динамика); б — створка багажной полки.

Глава 7. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ САМОЛЕТА




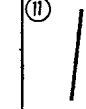





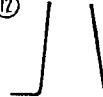



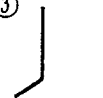


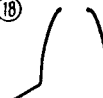

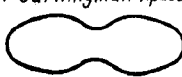

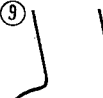
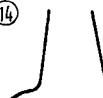








К деталям оборудования самолета из листовых материалов относятся главным образом полые детали. Они могут быть представлены сочетанием таких основных элементов, как форма направляющей стенки, форма фланца, форма стенки и форма донной части в соответствии с приведенной на схеме их характеристикой. Одним из наиболее рациональных процессов изготовления полых листовых деталей согласно схеме является глубокая вытяжка, заключающаяся в преобразовании плоской заготовки в полое изделие требуемой формы воздействием на нее такими формообразующими элементами, как пуансон, матрица, прижим.

На рис. III.7.1 показаны отдельные, наиболее распространенные формы полых листовых деталей с обозначением их геометрических параметров и с присвоением шифров согласно приведенной на схеме характеристике. Так, например, деталь цилиндрическая с плоским дном и фланцем, представленная на рис. III.7.1, может быть обозначена А-2-а.

Исходный диаметр заготовки D_0 для формообразования полых осесимметричных листовых деталей определяется из условия равенства поверхностей до и после деформирования с учетом припуска на обрезку.

Для установления технологичности полых листо-

Характеристика элементов детали

Форма отдельных элементов детали						
Форма направляющей стенки	Форма фланцевой части	Форма боковой поверхности				Форма донной части
		Цилиндрическая	Наклонная	Коническая	Двойной кривизны	
А. окружность 	без фланца	① 	⑥ 	⑪ 	⑫ 	а. плоская 
Б. многоугольник 	Плоская	② 	⑦ 	⑫ 	⑬ 	б. наклонная 
В. овал 	Коническая	③ 	⑧ 	⑬ 	⑭ 	в. двойной кривизны 
Г. замкнутая кривая 	Криволинейная	④ 	⑨ 	⑭ 	⑮ 	г. торoidalная 
Д. сочетание прямой с кривой 	Ступенчатая	⑤ 	⑩ 	⑮ 	⑯ 	д. плоско-ступенчатая 

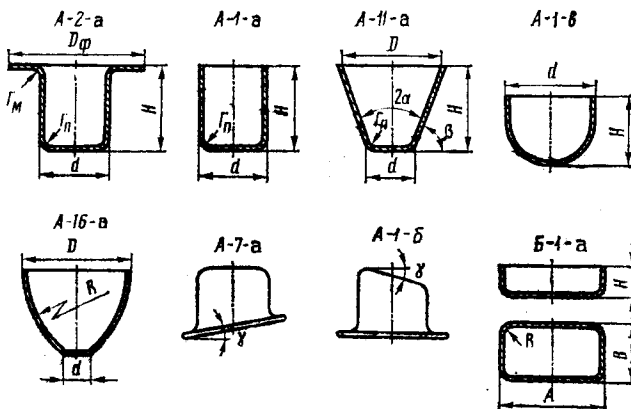


Рис. III.7.1. Типовые детали из листа, изготавливаемые вытяжкой.

вых деталей и выбора метода их изготовления целесообразно пользоваться относительными величинами их геометрических параметров.

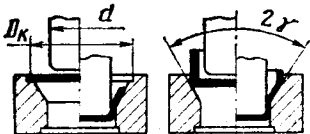
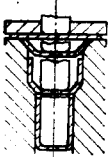
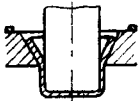
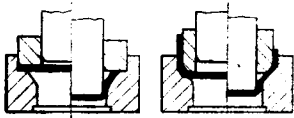
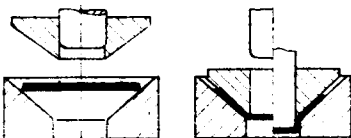
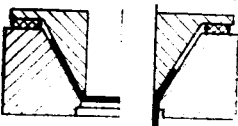
Под коэффициентом вытяжки детали K понимается отношение диаметра заготовки D_0 к диаметру изделия d , то есть $K = D_0/d$; $K_\phi = D_\phi/d$ — относительный диаметр фланца.

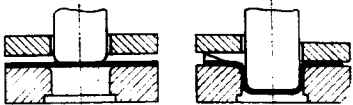
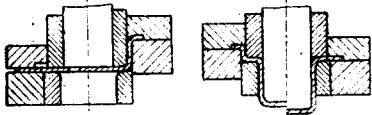
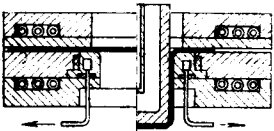
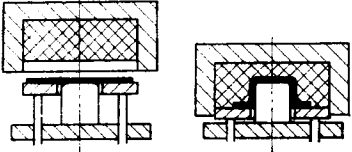
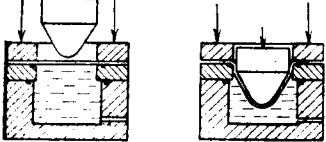
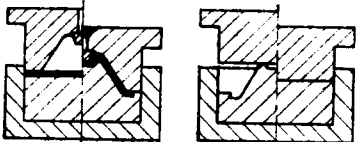
Под относительной толщиной заготовки понимается отношение толщины s_0 к диаметру заготовки D_0 , то есть $\bar{s}_0 = s_0/D_0 \cdot 100$ (%).

Относительная глубина вытяжки $\bar{H} = H/d$ для цилиндрических деталей (см. рис. III.7.1) в зависимости от коэффициентов вытяжки K и K_ϕ определяется по формуле

$$\bar{H} = \frac{K^2 - K_\phi^2}{4}$$

Область применения и технологические возможности процессов вытяжки

Способ вытяжки	Схема процесса	Форма деталей	Технологические возможности	Оборудование
I. Вытяжка без прижима заготовки		A-(1, 3)-a	При $\bar{s}_0=0,05-0,01$ для первой операции $K=2,00-1,75$ и $\bar{H}=0,75-0,50$; для второй операции $K=1,28-1,11$	Все виды вытяжных прессов
II. Поэтапная вытяжка в штампе с конусно-ступенчатой матрицей		A-(1, 5)-a	При $\bar{s}_0=0,005-0,008$ $\bar{H}=1,3$; $K=2,50$; при $\bar{s}_0=0,016-0,020$ $K=3,00$; $\bar{H}=2,0$	Механические прессы типа К230Е
III. Комбинированная вытяжка		(А, Б)-1-a	При $\bar{s}_0=0,13$ $\bar{H}=1,5$; при $\bar{s}_0=0,04$ $\bar{H}=1,0$; при $\bar{s}_0=0,004$ $\bar{H}=1,0$	Вытяжные прессы одинарного и двойного действия
IV. Вытяжка с прижимом заготовки		(А, Б, В)-(1, 2, 5)-(а, б, в)	При $\bar{s}_0=0,02-0,005$ для первой операции $K=2,18-1,67$ и $\bar{H}=0,92-0,44$; для второй $K=1,37-1,25$	Вытяжные прессы двойного или тройного действия
V. Вытяжка с конусным формующим складкодержателем		(А, Б)-(1, 3)-(а, в)	При $\bar{s}_0=0,02-0,005$ для первой операции $K=2,50-1,87$ и $\bar{H}=1,31-0,62$	Универсальные гидропрессы двойного действия, прессы ПГВП-50, ПГВ-1А и ПМШ-500
VI. Вытяжка цилиндрических деталей из конической заготовки		A-(1, 3)-a	Однопереходная вытяжка позволяет получать $\bar{H}=1,1-3,0$ при $\alpha=45-30^\circ$	Токарно-давильные станки типа СДГ-20 для получения заготовок, универсальные гидропрессы, прессы ПМШ-500, ПГВ-1А

VII. Вытяжка с пульсирующим прижимом заготовки		(А, Б, В, Г, Д)-(1,2)-(а, б)	При $\bar{s}_0 \leq 0,005$ $K=2,18-3,0$ и $\bar{H}=0,92-2,0$	Специальные гидропрессы ПГВ-1А и ПМШ-500
VIII. Однооперационная двухпереходная вытяжка с торцевым подпором		(А, В)-(1, 2, 3, 4, 5)-а	При $\bar{s}_0 \geq 0,005$ $K=2,5-3,0$ и $\bar{H}=1,3-2,0$	Гидропрессы ПГВП-50
IX. Вытяжка с местным подогревом и охлаждением заготовки		(А, В, Д)-(1, 2)-(а, в)	Целесообразна при вытяжке деталей из малопластичных сплавов (магневых, титановых и др.)	Гидравлические прессы двойного действия с регулируемой скоростью вытяжки
X. Вытяжка обжатием гидроэластичной матрицей по жесткому пуансону с подвижным прижимом		Вытягиваются практически все детали, форма которых приведена на схеме, стр. 49	При $\bar{s}_0 = 0,05-0,01$ $K=2,25-2,15$ и $\bar{H}=1,0-0,90$	Гидропрессы QAB-31,5 (Швеция), прессы одинарного действия со спец. агрегатами типа УВР и УВШ
XI. Гидромеханическая вытяжка		Вытягиваются практически все детали, форма которых приведена на схеме, стр. 49	При $\bar{s}_0 = 0,005$ $K=2,5-2,8$ и $\bar{H}=1,3-1,7$ для сталей 08ВГ, Х18Н10Т и латуни; $K=2,1-2,4$ для алюминиевых сплавов	Гидропрессы двойного действия со специальным гидроагрегатом и прессы SMG (ФРГ)
XII. Вытяжка пластичным металлом (свинцом) в жесткую матрицу		(А, Б, В, Г)-(11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19)-(а, б, в, г)	Целесообразна для изготовления деталей конической, сферической, параболической, оживальной и других форм	Мощные гидравлические прессы одинарного действия, падающие молоты и пресс ПМШ-500

Геометрические размеры и форму полых листовых деталей рекомендуется устанавливать из условия формообразования этих деталей за один переход, руководствуясь технологическими возможностями штамповки-вытяжки. Формообразование этих деталей сопровождается утонением и утолщением стенок изделия, поэтому в чертежах следует указывать: «Допускаются местные изменения толщин стенок в пределах $\pm 20\%$ от исходной толщины».

Для изготовления полых листовых деталей конкретных форм и размеров ниже приводятся рекомендации по выбору рационального способа глубокой вытяжки, по определению его технологических возможностей и особенностей, а также по требуемому оборудованию для его осуществления (табл. III.7.1) и дополнительные сведения по каждому из рассматриваемых в таблице процессов вытяжки.

Для изготовления полых листовых деталей простых и сложных форм могут использоваться практически все процессы вытяжки, представленные в табл. III.7.1.

Наиболее применимы для производства полых листовых деталей алюминиевые сплавы Д16, Д19, В95, АМцМ, АМг, стали Х18Н10Т, 30ХГСА, ст. 20 и др. Большую часть деталей сложных и простых форм из алюминиевых сплавов и сталей целесообразно изготавливать вытяжкой гидроэластичной матрицей по схеме X табл. III.7.1, а также вытяжкой с пульсирующим прижимом заготовки по схеме VII табл. III.7.1, учитывая, что ряд заводов отрасли оснащен гидропрессами типа QAB-31,5 (Швеция), а также гидропрессами ПГВ-1А для пульсирующей вытяжки. Благодаря применению этих производственных процессов создается реальная основа для резкого снижения объема ручных доводочных работ, повышения качества и точности изготавливаемых деталей.

Широкое применение полых листовых деталей в самолетостроении дает основание привести соответствующие рекомендации по известным и разработанным процессам вытяжки, область применения и возможности которых приведены в табл. III.7.1.

I. **Вытяжка без прижима заготовки** применяется при изготовлении цилиндрических деталей типа А-(1,3)-а из относительно толстого металла — $\bar{s}_0 > 0,01 - 0,05$. В табл. III.7.2 приведены коэффициенты вытяжки без прижима в конической матрице с углом $2\gamma = 60^\circ$ для различных s_0/D_0 в зависи-

Таблица III.7.2

Коэффициенты вытяжки без прижима в конической матрице ($2\gamma = 60^\circ$)

Отношение d/D_k	Коэффициент вытяжки при относительной толщине заготовки s_0/D_0				
	0,03	0,025	0,02	0,015	0,01
0,6	2,00	1,92	1,85	1,79	1,72
0,7	1,72	1,67	1,61	1,56	1,52
0,8	1,52	1,47	1,43	1,39	1,33

мости от отношения d/D_k , где D_k — верхний диаметр конуса матрицы и d — нижний диаметр конуса матрицы.

II. **Поэтапная вытяжка в штампе с конусно-ступенчатой матрицей** применяется при изготовлении цилиндрических деталей с $\bar{s}_0 = s_0/D_0 \geq 0,005 - 0,008$ при $K_0 = 2,5$ для двухэтапной вытяжки и с $\bar{s}_0 = 0,016 - 0,020$ при $K_0 = 3,0$ для пятиэтапной вытяжки.

III. **Комбинированная вытяжка** применима для изготовления цилиндрических и коробчатых деталей типа (А, Б)-1-а. В табл. III.7.3 приведены необходимые параметры по комбинированной вытяжке заготовок с $\bar{s}_0 = 0,004 - 0,011$ в конических матрицах.

Таблица III.7.3

Параметры первого перехода комбинированной вытяжки

Материал заготовки	$\bar{s}_0 = \frac{s_0}{D_0}$	$m_{d_1} = \frac{d}{D_0}$	$m_{s_1} = \frac{s}{s_0}$	$\bar{H} = \frac{H}{d}$
Ст. 08КП	0,0046	0,56	0,54	0,88
	0,0040	0,53	0,65	1,00
Латунь Л80	0,0105	0,59	0,58	0,80
	0,0095	0,49	0,47	1,66
	0,0086	0,58	0,58	0,86
Сталь Х18Н10Т	0,0116	0,59	0,52	0,90
	0,0095	0,58	0,52	0,87

IV. **Вытяжка с прижимом заготовки** применяется при изготовлении деталей цилиндрической (без фланца и с фланцем) и прямоугольной форм типа (А, Б, В)-(1, 2, 5)-(а, б, в).

Наибольшая относительная глубина H/d (H — высота детали, d — диаметр детали) при вытяжке цилиндрических деталей без фланца приведена в табл. III.7.4.

Таблица III.7.4

Относительная глубина при вытяжке цилиндрических деталей без фланца

Количество операций вытяжки	Относительная глубина вытяжки H/d при относительной толщине заготовки s_0/D_0				
	0,020—0,015	0,015—0,010	0,010—0,005	0,005—0,002	0,002—0,001
1	0,94—0,77	0,84—0,65	0,70—0,57	0,62—0,50	0,52—0,45
2	1,88—1,54	1,60—1,32	1,36—1,10	1,13—0,94	0,96—0,83
3	3,5—2,7	2,8—2,2	2,3—1,8	1,9—1,5	1,6—1,3
4	5,6—4,3	4,3—3,5	3,6—2,9	2,9—2,4	2,4—2,0
5	8,9—6,6	6,6—5,1	5,2—4,1	4,1—3,3	3,3—2,7

Примечание. Большие значения H/d соответствуют увеличенным радиусам закруглений на первых операциях (от $r = 8 s_0$ для $s_0/D_0 = 0,020 - 0,015$ до $r = 15 s_0$ для $s_0/D_0 = 0,001$), меньшие — уменьшенным радиусам закруглений ($r \approx (4 - 8) s_0$).

Наибольшая относительная глубина H/d вытяжки цилиндрических деталей с фланцем за один переход приведена в табл. III.7.5.

Наибольшая относительная глубина $\bar{H} = H/2R$ прямоугольных коробок, вытягиваемых за одну операцию, в зависимости от относительного радиуса закругления в углах R/B и относительной толщины заготовки $\bar{s} = s_0/D_0$ приведена в табл. III.7.6.

Таблица III.7.5

Наибольшая относительная глубина вытяжки цилиндрических деталей с фланцем за один переход

Относительный диаметр фланца	Относительная глубина вытяжки H/d при относительной толщине заготовки s_0/D_0				
	0,02—0,015	0,015—0,010	0,010—0,005	0,005—0,002	0,002—0,0006
	Углы конусности β				
До 1,1	0,90—0,75	0,82—0,60	0,70—0,57	0,62—0,50	0,52—0,45
1,3	0,80—0,65	0,72—0,56	0,60—0,50	0,53—0,45	0,47—0,40
1,5	0,70—0,58	0,63—0,50	0,53—0,45	0,48—0,40	0,42—0,35
1,8	0,58—0,48	0,53—0,42	0,44—0,37	0,39—0,34	0,35—0,29
2,0	0,51—0,42	0,46—0,36	0,38—0,32	0,34—0,29	0,30—0,25
2,2	0,45—0,35	0,40—0,31	0,33—0,27	0,29—0,25	0,26—0,22
2,5	0,35—0,28	0,32—0,25	0,27—0,22	0,23—0,20	0,21—0,17
2,8	0,27—0,22	0,24—0,19	0,21—0,17	0,18—0,15	0,16—0,13

Примечание. Большие значения соответствуют увеличенным радиусам закруглений (от $r = (10-12)s_0$ для $s_0/D_0 = 0,020-0,015$ до $r = (20-25)s_0$ для $s_0/D_0 = 0,002-0,0006$). меньшие — уменьшенным радиусам закруглений у дна и фланца ($r \approx (4-8)s_0$).

Таблица III.7.6

Наибольшая относительная глубина вытяжки прямоугольных коробок за один переход

Относительный радиус угловых закруглений R/B	Относительная глубина вытяжки $H/2R$ при относительной толщине заготовки s_0/D_0			
	0,020—0,015	0,015—0,010	0,010—0,005	0,005—0,002
0,3	1,2—1,0	1,1—0,95	1,0—0,9	0,9—0,85
0,2	1,0—0,9	0,9—0,82	0,85—0,7	0,8—0,7
0,15	0,9—0,75	0,8—0,7	0,75—0,65	0,7—0,6
0,10	0,8—0,6	0,7—0,55	0,65—0,5	0,6—0,45
0,05	0,7—0,5	0,6—0,45	0,55—0,4	0,5—0,35
0,025	0,5—0,4	0,45—0,35	0,4—0,3	0,35—0,25

Примечания:

1. Возможная глубина вытяжки зависит не только от относительных величин R/B и s_0/D_0 , но и от абсолютных размеров прямоугольных коробок. Поэтому наибольшие из приведенных в табл. III.7.6 значений относятся к коробкам наименьших размеров ($B < 100$ мм), а меньшие — к крупным коробкам.

2. В табл. III.7.6 приведены данные для материалов типа сталь 08. Для других материалов следует применять поправки в ту или другую сторону, в соответствии с большей или меньшей пластичностью металла.

V. Вытяжку с конусным формирующим складкодержателем следует применять в том случае, если требуемая относительная глубина вытяжки превышает на 10–20% значения, приведенные в табл. III.7.4 для цилиндрических деталей без фланца.

В табл. III.7.7 приведены значения углов конусности складкодержателя β для некоторых значений s_0/D_0 и H/d .

VI. Для вытяжки цилиндрических деталей из конической заготовки рекомендуется применять конические заготовки, получаемые выдавливанием с утонением на токарно-давильных станках.

Таблица III.7.7

Углы конусности складкодержателя

s_0/D_0	H/d				
	1,30	0,95	0,75	0,56	0,30
	Углы конусности β				
0,018	60	62	64	66	76
0,015	—	46	48	50	57
0,010	—	31	32	32	35
0,005	—	—	14	15	21
0,001	—	—	—	10	10

На рис. III.7.2 показан график изменения относительной глубины деталей H/d в зависимости от коэффициента вытяжки K для различных углов конусности заготовок. Значения K в зависимости от s_0 следует принимать по табл. III.7.8.

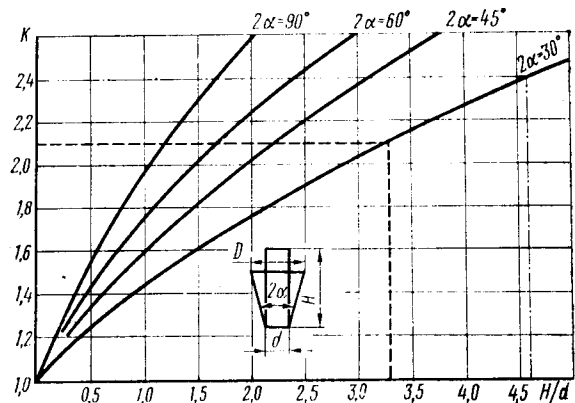


Рис. III.7.2. График изменения относительной глубины детали в зависимости от коэффициента вытяжки для различных углов конусности заготовки.

Таблица III.7.8

\bar{s}_0	0,020—0,015	0,015—0,010	0,010—0,005	0,005—0,002	0,002—0,0006
K	2,15—2,0	2,0—1,9	1,9—1,82	1,82—1,73	1,73—1,67

VII. Вытяжка с пульсирующим прижимом заготовки применима при вытяжке особо тонкостенных изделий цилиндрической и прямоугольной форм типа (А, Б, В, Г, Д) — (1, 2) — (а, б).

При относительной толщине $s_0 < 0,005$ возможно изготовление цилиндрических деталей с $H/d = 0,9 \div 2,0$. Для коробчатых деталей возможна штамповка с коэффициентом вытяжки $K = 6 \div 10$. Глубокая вытяжка с пульсирующим прижимом возможна толь-

ко на специальных гидропрессах типа ПГВ-1 и ПШМ-500.

VIII. Однооперационная двухпереходная вытяжка с торцовым подпором заготовки применяется при изготовлении деталей типа (А, В)-(1, 2, 3, 4, 5)-(а) с $K_0=2,5 \div 3,0$ на специальных гидравлических прессах тройного действия.

IX. Вытяжку с местным подогревом и охлаждением заготовки целесообразно осуществлять только при изготовлении деталей из малопластичных металлов и сплавов, которые при комнатной температуре штамуются ограниченно. Относительная глубина деталей из магниевых сплавов МА1 и МА8, штампуемых с нагревом и в холодном состоянии за одну вытяжную операцию, приведена в табл. III.7.9.

Таблица III.7.9

Относительная глубина деталей, штампуемых из магниевых и титановых сплавов

Сплав	Относительная глубина деталей H/d	
	в холодном состоянии	с нагревом
МА1	0,09—0,05	1,0—0,75
МА8	0,14—0,10	1,5—1,00
BT1	—	0,75—0,55 (350—400 °C)
BT1-2; OT4-1	—	0,55—0,40 (500—600 °C)
OT4 и BT14 (закаленный)	—	0,40—0,30 (600—700 °C)
BT4 и BT14 (отожженный)	—	0,30—0,23 (550—700 °C)
OT4-2; BT5-1; BT6	—	0,20—0,12 (600—760 °C)

X. Вытяжка обжатием гидроэластичной матрицей по жесткому пуансону с подвижным прижимом обеспечивает изготовление цилиндрических деталей за один переход с $H/d=0,6 \div 1,0$ для материалов Д16М, В95М, АМцМ, ст. 20 и Х18Н10Т; цилиндрические детали со сферическим дном типа А-1-в, изготавливаемые этим способом, рекомендуются проектировать с $H/d=0,7 \div 0,9$ для Д16М, В95, ст. 20 и с $H/d=0,8—1,0$ для АМцМ и Х18Н10Т.

Рекомендуется применять значения $\bar{r}_m = \frac{r_m}{s_0} \geq 6$ и $\bar{r}_n = \frac{r_n}{s_0} \geq 4$ (r_m — радиус сопряжения стенок деталей с фланцем; r_n — радиус сопряжения дна деталей с боковыми стенками).

Для деталей типа (А, Б, В)-(6, 7)-(а, в) угол наклона фланца или дна назначать не более 30°. Штамповку-вытяжку обжатием гидроэластичной матрицей по жесткому пуансону следует осуществлять на специальных прессах для штамповки-вытяжки гидроэластичной матрицей типа QAB-31,5 (Швеция).

XI. Гидромеханическая вытяжка обеспечивает изготовление практически всех деталей, форма которых приведена на схеме, причем технологические возможности этого процесса значительно выше обычной вытяжки в инструментальных штампах по способу вытяжки IV (см. табл. III.7.1), что наряду с повышением точности и качества изготавливаемых деталей обеспечивает большой экономический эффект в условиях опытного и мелкосерийного производства.

XII. Вытяжка пластичным металлом (свинцом) в жесткую матрицу целесообразна для изготовления деталей сферической, конической, оживальной и других сложных форм типа (А, Б, В, Г)-(11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19)-(а, в, б, г).

Предельные коэффициенты вытяжки за одну операцию существенно зависят от угла конусности матрицы β и механических свойств штампуемого материала.

Удельные давления со стороны пластичного металла в пределах 700—1000 кгс/см² [$\sim (7 \div 10) \times 10^5$ МПа] обеспечивают штамповку деталей сложных форм из материалов типа Д16М и АМцМ при относительных толщинах $s_0/D_0=0,015 \div 0,020$ и из материалов типа нержавеющей стали Х18Н10Т при $s_0/D_0=0,007—0,01$.

Штамповку-вытяжку пластичным металлом следует производить на гидравлических прессах одностороннего действия (ковочных или универсальных) с соблюдением условия создания удельных давлений со стороны свинца до 800—1000 кгс/см² [$(8 \div 10) \cdot 10^5$ МПа].

Глава 8. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДА

Трубопроводы относятся к числу узлов ответственного назначения. Качество изготовления трубопроводов, их надежность и ресурс зависят от технологичности отдельных деталей.

ТИПЫ ДЕТАЛЕЙ

Детали, изготавливаемые в заготовительно-штамповочном производстве, можно разбить на четыре основные группы:

1. Прямые, изготавливаемые из цельнотянутых или прямошовных сварных труб (рис. III.8.1, а, б, в, ж);
2. Гнутые длинномерные (рис. III.8.1, г, д, е);

3. Разнообразные элементы патрубков, изготавливаемые как цельноштампованными из трубных заготовок, так и сварными из листа штамповкой двух половин с последующей обрезкой и сваркой (рис. III.8.1, з—п);

4. Элементы патрубков, изготавливаемые только штамповкой двух и более частей из листа с последующей обрезкой, слесарной обработкой и ручной сваркой (рис. III.8.1, р, с, т).

Детали, которые можно изготовить из трубных заготовок, являются более технологичными, чем детали, которые можно изготовить только из листа штамповкой отдельных частей с последующей свар-

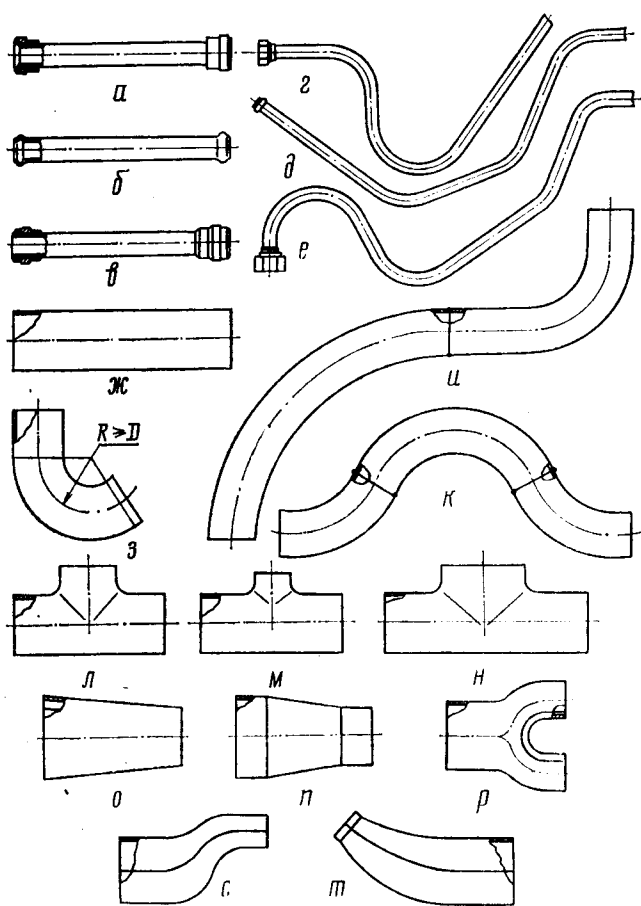


Рис. III.8.1. Типовые детали трубопроводов.

кой. Наиболее нетехнологичными деталями трубопровода являются сварные патрубки, имеющие разъем в двух и более плоскостях (см. рис. III.8.1, р, с, т). Механизация процесса обрезки и подгонки таких деталей под сварку и автоматическая сварка практически невозможны, а выполнение этих работ вручную не обеспечивает высокого качества деталей и весьма трудоемко.

Прямые детали

Прямые детали изготовляют, как правило, из цельнотянутых и прямошовных сварных труб путем резки исходного материала на заготовки на отрезных станках и ленточных пилах, зачистки заусенцев и подготовки концов деталей под различные соединения.

Для обеспечения технологичности деталей трубопроводов этого типа необходимо при проектировании в качестве исходного материала использовать трубы, выпускаемые промышленностью по ГОСТам, ОСТам и ТУ.

При отсутствии тонкостенных бесшовных труб больших диаметров следует предусматривать прямошовные трубы, получаемые сверткой из листа с последующей автоматической аргодуговой сваркой. В целях сокращения количества оснастки для изготовления прямошовных труб в условиях серийного предприятия номенклатуру таких труб для данного изделия необходимо ограничивать. Применение прямошовных труб, изготовляемых ручной

сваркой, запрещается, так как такие трубы не отвечают требованиям надежности и ресурса.

Размеры раструбов на концах труб, предназначенных для жестких соединений по наружному конусу (см. рис. III.8.1, а), должны соответствовать размерам, указанным в ГОСТ 13954—74, распространяющимся только на материалы марок М2, 20, 20А, 12Х18Н10Т, АМг2М.

Применение жестких соединений по наружному конусу для труб из других материалов должно быть согласовано с НИИСУ и НИАТ. Развальцовку концов труб для соединений по наружному конусу можно производить на специализированных развальцовочных станках ТРС-4/40, ТР-1, ТРЗМ и приспособленных токарных станках. В качестве инструмента применяются трех-, пяти-, шести- и однороликовые оправки. Станок ТРС-4/40 позволяет применять как однороликовую, так и много-роликовую оправки.

Размеры зигов на концах деталей под дюритовые или ограниченно-подвижные соединения (см. рис. III.8.1, б) должны назначаться по нормали АН-194АТ.

В настоящее время формообразование зигов производят на зиговочных станках роликами или — у труб с внутренним диаметром менее 14 мм — шариковой оправкой. Для зиговки труб с внутренним диаметром от 14 до 50 мм рекомендуется применять специализированный станок СЗКТ-14/50.

Гнутые детали

При разработке чертежей или технических условий на гнутые детали трубопроводов необходимо учитывать пластические свойства материала и технологические возможности трубогибочных станков.

Гнутые детали изготовляются, как правило, из бесшовных и прямошовных сварных труб гибкой на трубогибочных станках. Для обеспечения технологичности гнутых деталей все гибы на одной детали должны выполняться, как правило, одним радиусом (рис. III.8.2). В этом случае сокращается количество оснастки, упрощается программа при гибке на станке с ЧПУ, снижается трудоемкость изготовления детали, повышается точность размеров между гибами, упрощается обслуживание трубогибочного станка.

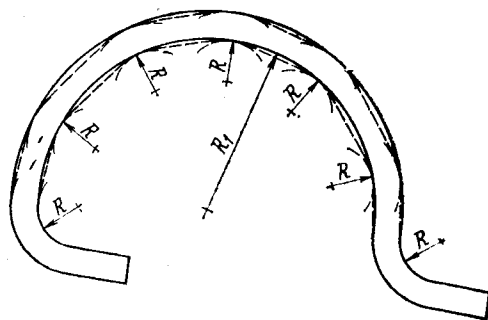


Рис. III.8.2.

Радиусгиба должен назначаться по ОСТ 1.41664—76. «Радиусыгиба труб. Размеры».

Наименьшее расстояние между двумя гибами, максимальный уголгиба в соответствии с техно-

логическими возможностями трубогибочных станков должны быть равными соответственно $2D$; 180° .

Максимальный радиус гибки и максимальная длина заготовки должны назначаться также в соответствии с технологическими возможностями трубогибочных станков по табл. III.8.1.

Таблица III.8.1

Технологические возможности трубогибочных станков

Модель станка	Диаметр изгибаемой трубы D , мм	Максимальный радиусгиба R_{\max} , мм	Максимальная длина заготовки, мм
ТГСП-24	6—24	200	2000
ТГСП-24У	6—24	200	2000
ТГСП-24С	6—24	200	4000
ТГСП-40	18—40	320	2000
ТГСП-40А	18—40	320	4000
ТГСП-80	30—80	500	4000
ТГСП-120	70—120	700	4000
ТГСП-200	100—200	1000	4000
УРВ-706s*	80—200	1000	5500

* Станок фирмы «Ямомата» (Япония).

тиром, технологична, так как может быть изготовлена на трубогибочном станке на одной гибочной оправке с одного установа.

В тех случаях, когда в трубах диаметром до 20 мм требуется радиусгиба менее $2D_{\text{тр}}$ и в трубах диаметром свыше 20 мм — менее $3D_{\text{тр}}$ (рис. III.8.4), в чертежах или ТУ на эти детали

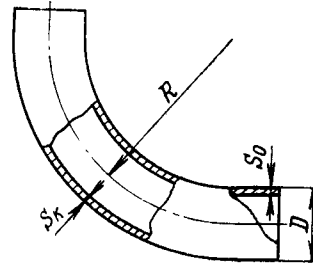


Рис. III.8.4.

необходимо указывать допустимое местное утонение стенки на изогнутом участке и допустимую овальность

$$s_k = \frac{s_0}{1 + \frac{D_{\text{тр}} - s_0}{2R}},$$

где s_k — толщина стенки трубы после гибки, мм;

$D_{\text{тр}}$ — наружный диаметр трубы, мм;

s_0 — толщина стенки трубы до гибки, мм;

R — радиус изгиба по оси трубы, мм.

Допустимую овальность Q следует назначать в соответствии с ОСТ 1.00154—74

$$Q = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \cdot 100\%,$$

где D_1 и D_2 — большая и малая оси овала, мм.

Минимально возможный радиусгиба по нейтральной оси в зависимости от диаметра и относительного удлинения материала трубы равен

$$R_{\min} = \frac{0,5 D_{\text{тр}}}{\delta} 100\%,$$

где $D_{\text{тр}}$ — наружный диаметр трубы, мм;

δ — относительное удлинение материала трубы, %.

При разработке чертежей или ТУ на гнутые детали необходимо учитывать, что

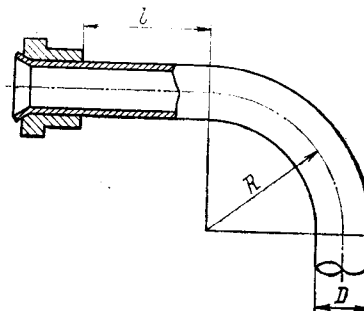


Рис. III.8.5.

— длина прямого участка конца трубы l (рис. III.8.5), предназначенного для зажима трубы при развальцовке в ниппель, должна быть не менее указанной в табл. III.8.3;

Примечание: В том случае, когда $\frac{R}{D} - 0,025 \frac{D}{s} \leq 1,5$, на трубогибочном станке можно выполнить только один гиб, так как для закрепления заготовки к гибочной оправке требуется применение зажимной пробки 6 и зажимной скобы 5, рис. III.8.3. Если деталь из такой трубы должна иметь более одного изгиба, ее следует собирать из отдельных участков с введением кольцевых сварных швов.

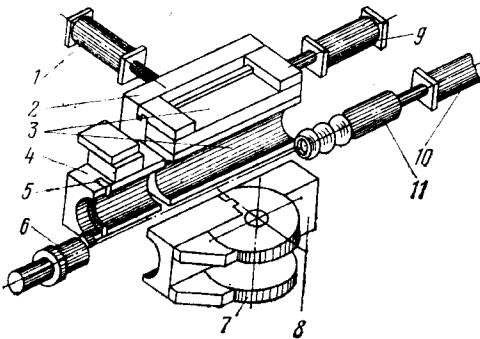


Рис. III.8.3. Схема взаимного расположения оснастки на трубогибочном станке:

1 — цилиндр прижимной планки; 2 — установочная планка; 3 — прижимная планка; 4 — зажимной сухарь; 5 — скоба зажимная; 6 — пробка зажимная; 7 — гибочная оправка; 8 — разглаживающий башмак; 9 — бустер; 10 — цилиндр дорна; 11 — дорн.

Если по условиям конструкции изделия на детали требуется радиусгиба, больше указанных в табл. III.8.1, его следует заменить кривой, образованной из прямых участков и наименьшим для данной детали радиусомгиба (см. рис. III.8.2). Деталь, показанная на рис. III.8.2 сплошной линией, с $R_1 > R$ нетехнологична, так как не может быть изготовлена на трубогибочном станке с одного установа на одной оправке. Деталь с R и прямыми участками, показанная на рис. III.8.2 пунк-

— длина прямого участка гнутой трубы с зигами на концах под дюритовое или ограниченно-подвижное соединение должна быть не менее указанной в табл. III.8.2 и на рис. III.8.6;

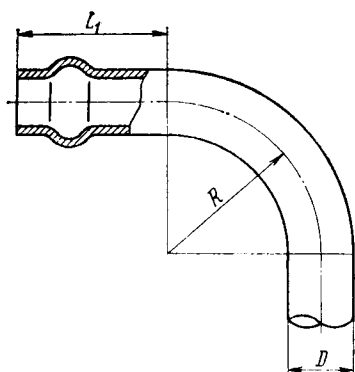


Рис. III.8.6.

Таблица III.8.2
мм

Наружный диаметр трубы D	Длина прямого участка трубы l_1
8—10	15
12—28	20
28 и более	30

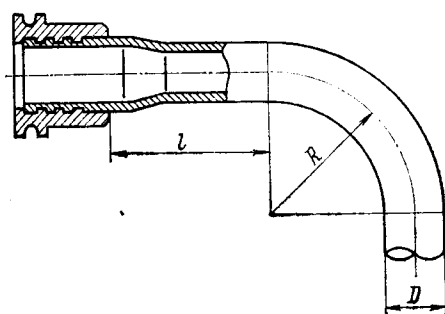


Рис. III.8.7.

Таблица III.8.3
мм

Наружный диаметр трубы D	Длина прямого участка трубы l
4—6	18
8—10	22
12—14	25
16—20	27
22—24	30
25—28	33
30—38	38

— длина прямого участка конца трубы l для заделки в арматуру путем раскатки внутренней поверхности (рис. III.8.7) должна быть не менее указанной в табл. III.8.3 для труб диаметром до 38 мм, а для труб диаметром более 38 мм — не менее 50 мм;

— длина откалиброванного участка трубы под автоматическую сварку с другими деталями трубопровода должна быть не менее 10 мм от торца трубы (рис. III.8.8).

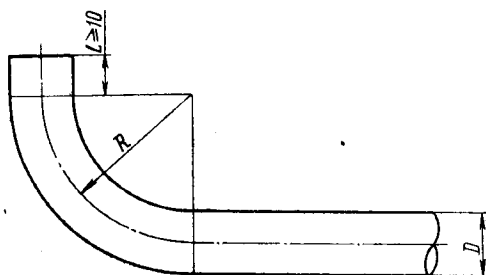


Рис. III.8.8.

Патрубки

В настоящее время патрубки (см. рис. III.8.1, ж—т) чаще всего изготавливаются сваркой двух штампованных из листа полупатрубок. В последние годы получил распространение новый, более рациональный технологический процесс изготовления патрубков, типа представленных на рис. III.8.1,

ж—п, из бесшовных или прямошовных труб. При изготовлении этих патрубков из труб все операции технологических процессов могут быть механизированы, значительно повышено качество деталей, так как в них отсутствуют чрезмерные местные утонения и сварные швы, выполненные вручную. Трудоемкость формообразования патрубков из труб значительно ниже, чем из листа.

Крутоизогнутые патрубки (см. рис. III.8.1, з) из трубных заготовок рационально осуществлять втачиванием заготовки с наполнителем в разъемную матрицу при одновременном давлении на наполнитель с противоположного конца заготовки. Этот процесс позволяет получать детали с высокой точностью по наружному диаметру. Для обеспечения технологичности крутоизогнутого патрубка его размеры (диаметр, радиус изгиба, прямые участки на концах, угол изгиба) должны назначаться в соответствии с технологическими возможностями имеющихся прессов ПГФП-20/100 и ПШП-50/200 для формообразования патрубков (табл. III.8.4).

Таблица III.8.4

Технологические возможности оборудования для формообразования крутоизогнутых патрубков из трубных заготовок

Модель пресса	Диаметр заготовки D_3 , мм	Максимальная длина заготовки, мм	Радиус сгиба по оси трубы, мм		Максимальный угол изгиба, град.
			минимальный	максимальный	
Пресс гидравлический для формообразования патрубков ПГФП-20/100	20—100	500	$1 D_3$	$3 D_3$	140
Пресс для штамповки патрубков ПШП-50/200	50—200	1000	$1 D_3$	$3 D_3$	140

Ввиду того, что для формообразования патрубков из труб на прессах ПГФП-20/100 и ПШП-50/200 требуется дорогостоящая инструментальная оснастка, все патрубки, входящие в трубопроводы изделия, должны быть унифицированы. Радиусы сгиба по оси трубы должны быть равными $1D_3$; $1,5D_3$; $2D_3$. При унификации желательно предусматривать наличие прямого участка только на одном конце патрубка. Это позволит для формообразования патрубка с любым углом изгиба до 140° иметь всего один штамп для данного диаметра трубы.

Патрубки с радиусом сгиба, равным или более $2,5D_3$, могут быть изготовлены на универсальных гибочных станках (см. табл. III.8.1) или гибкой на профилегибочных роликовых станках (табл. III.8.5).

Дугообразные патрубки (см. рис. III.8.1, и, к) должны иметь конструкцию, позволяющую их изготовление из крутоизогнутых патрубков с введением кольцевых сварных швов.

Тройники (см. рис. III.8.1, л, м, н) часто встречаются в трубопроводах разных систем, они могут изготавливаться как из штампованных из листа поло-

Таблица III.8.5

Технологические возможности профилегибочных роликовых станков

Модель станка	Диаметр заготовки D_3 , мм	Радиус сгиба, мм		Угол изгиба, град.
		минимальный	максимальный	
ПГ-12	15—60	60 (при гибке труб $\varnothing 15$ мм)	не ограничен	до 360°
ПГ-4, ПГ-8	50—120	150 (при гибке труб $\varnothing 50$ мм)	То же	до 360°
ПГ-25	100—160	300 (при гибке труб $\varnothing 100$ мм)	»	до 360°

винок с последующей обрезкой, подгонкой под сварку и сваркой, так и из бесшовных и прямошовных труб.

Для обеспечения технологичности необходимо при проектировании тройников исходить из возможности их формообразования из трубных заготовок на специализированном оборудовании — прессах УГМФФ и ПШП-50/200. Учитывая технологические возможности этого оборудования (табл. III.8.6), заводам отрасли рекомендуется изготовить для себя пресс УГМФФ по чертежам завода им. Климова (г. Ленинград). Пресс ПШП-50/200 изготавливает СПО «Прогресс» (изготовление опытного образца — 1981 г., серийное изготовление — с 1983 г.).

Таблица III.8.6

Технологические возможности оборудования для формообразования тройников из трубных заготовок

Модель прессы	Диаметр заготовки, мм	Длина заготовки, мм	Длина тройников, мм	Длина отвода при угле 90°	Угол наклона от оси тройника, град.
УГМФФ	8—40	60—160	40—120	$0,3 D_n$	60 и 90
ПШП-50/200	50—200	120—400	100—350	от 20 мм при $D_3 = 50$ мм до 35 мм при $D_3 = 200$ мм	60 и 90

В целях сокращения количества дорогостоящих штампов для формообразования тройников, необходимо при проектировании трубопроводов ограничивать число наименований тройников за счет их унификации. Минимальный радиус сопряжения отводов у тройников брать равным трем толщинам стенки трубной заготовки, максимальный — ориентировочно 10—15 толщинам стенки заготовки.

Минимальный наружный диаметр отвода брать равным 0,8 от диаметра исходной заготовки, максимальный — 1,3 диаметра исходной заготовки.

Максимальное местное утонение исходной заготовки при формообразовании тройников в местах, близких к торцу отвода, может составлять до 20%, максимальное утолщение в зоне радиуса сопряже-

ния отвода — до 30% и по всей длине тройника — до 15%, что должно быть отражено в чертежах или в ТУ на трубопроводы.

Рекомендации по проектированию тройников даны на основании небольшого опыта заводов отрасли и экспериментальных работ, проведенных в НИАТе, поэтому по мере более широкого внедрения нового процесса и оборудования в производство и накопления опыта эти рекомендации будут уточняться.

Переходники (рис. III.8.1, о, п) в настоящее время изготавливаются преимущественно штамповкой из листа двух половинок с последующей сваркой. При наличии прессов УГМФФ и ПШП-50/200 переходники можно получать из трубных заготовок путем формообразования одновременно двух переходников с последующей разрезкой (рис. III.8.9), где r составляет 0,5 от D_2 или D_1 соответственно.

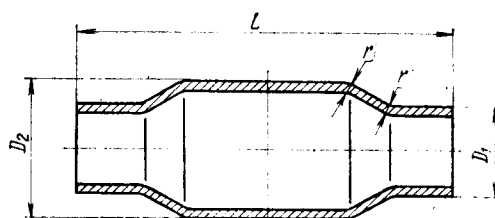


Рис. III.8.9.

Предположительно, отношение формируемого диаметра к диаметру исходной заготовки можно получить в пределах 1,1—1,35 при допустимом утонении материала заготовки 20%. Для обеспечения технологичности переходников их размеры необходимо назначать в соответствии с технологическими возможностями прессов УГМФФ и ПШП-50/200 (см. табл. III.8.6).

Полупатрубки изготавливают штамповкой из листовых заготовок различными методами: штамповкой гидроэластичными средами на прессах типа П5054 или QAB-32, на электрогидравлических прессах ПЭГ (см. табл. III.4.5), на гидродинамических молотах МЛГ (табл. III.8.7), а также штамповкой в жестких штампах на листоштамповочных молотах. Выбор метода штамповки полупатрубок определяется в основном наличием оборудования на заводе.

Таблица III.8.7

Наибольшие размеры деталей, штампуемых на гидродинамических молотах

Модель молота	Энергия удара, тс·м	Деформирующее давление, кгс/см ²	Максимальный размер штампуемой детали, м
М3252 (МЛГ-16)	16	2500	0,8
М3256* (МЛГ-40)	40	3000	1,2

* В стадии изготовления.

При проектировании патрубков рекомендуется: — разъем полупатрубок одинарной кривизны

выполнять плоским, проходящим через ось симметрии;

— радиус r_c сопряжения отрезков полупатрубка (рис. III.8.10), соединяемых с коллектором, проектировать равным не менее полусуммы радиусов r отрезков;

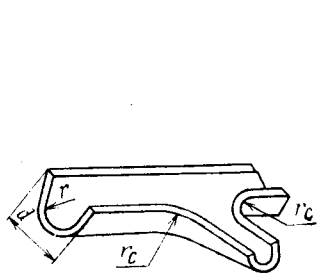


Рис. III.8.10.

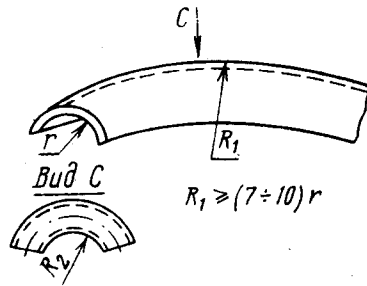


Рис. III.8.11.

— радиус R_1 продольной кривизны полупатрубка, ограниченного выпуклой кривой, выбирать равным не менее 7 радиусов r поперечной кривизны (рис. III.8.11), а при электрогидравлической штамповке — не менее 10 r ;

— радиус R_1 продольной кривизны полупатрубка, ограниченного вогнутой кривой, выбирать равным не менее 5 r (рис. III.8.12), при электрогидравлической штамповке — не менее 8 r ;

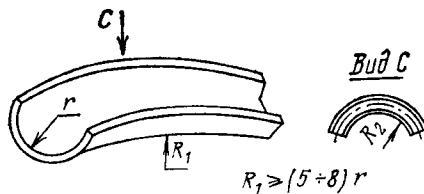


Рис. III.8.12.

— замкнутые полупатрубки (полуторы) проектировать, исходя из допустимых радиусов поперечной кривизны, ограниченных вогнутой кривой, то есть $R_2 \geq 0,6 d$;

— для снижения стоимости и повышения качества деталей полупатрубки из алюминиевых сплавов целесообразно получать штамповкой резиной на листоштамповочных молотах. Качественные результаты достигаются при соотношении радиусов $\frac{R_2}{R_2+2r} > 0,25$ и угле $\beta > 60^\circ$ (см. рис. III.8.11 и III.8.12). При штамповке полупатрубков резиной

на гидропрессах и электрогидравлических прессах ПЭГ качественные результаты достигаются при $\frac{R_2}{R_2+2r} > 0,33$ ($r/R > 1$) и $\beta > 60^\circ$. Наибольшее утонение материалов полупатрубка имеется в зоне радиуса R_2+2r . Примерная величина утонения приведена в табл. III.8.8.

Таблица III.8.8

Утонение материала полупатрубка в зависимости от соотношения радиусов

$\frac{R_2}{R_2+2r}$	Утонение, %	$\frac{R_2}{R_2+2r}$	Утонение, %
0,2–0,3	14–20	0,5–0,6	8–9
0,3–0,5	13–17	0,6–0,8	2–7

Наиболее сложной конфигурации патрубки целесообразно формовать в жестких штампах, а не гидроэластичным пуансоном.

МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Для изготовления трубопроводов применяют сталь, алюминий и его сплавы, медь и титановые сплавы. Трубы поставляются:

— из нержавеющей стали марок 12X18H10T, 0X18H10T. На трубы из этих марок распространяются дополнительные требования по ТУ-14-3-138-73 на безрисочные стальные трубы для авиатрубопроводов;

— холоднотянутые бесшовные трубы из сталей 20A, 30XГСА — по ГОСТ 8734-75 и ГОСТ 8733-74;

— из алюминия и его сплавов — по ГОСТ 18475-73, ГОСТ 1947-56 и ГОСТ 4773-65;

— медные — по ГОСТ 617-72;

— из титана и его сплавов:

марок ВТ1-1, ВТ1-2, ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4 — по ОСТ 1.90050-72 и ОСТ 1.90065-72;

марок ПТ-7М и других — по ТУ-14-3-20-71.

Трубы из марок ВТ1, ВТ1-2 и ОТ4-0 поставляются повышенного качества. Трубы поступают на заводы-потребители в термически обработанном состоянии с травленной поверхностью.

Материал полупатрубков, изготавливаемых на электрогидроимпульсных прессах, АМцАМ, АМг6БМ, Х18Н10ТМ, ОТ4-0 и ОТ4-1, толщиной 0,8–1,5 мм.

ЛИТЕРАТУРА

Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. Л., «Машиностроение», 1971.

Опыт разработки технологических процессов и проектирование штампов для глубокой вытяжки. Под ред. М. А. Краснопольского. Л., ЛДНТП, 1972.

Платонов М. А. Вытяжка деталей штампами с конусным формующим складкодержателем. — «Авиационная промышленность», 1962, № 6.

Юдаев В. Б., Иванов А. А. Глубокая вытяжка деталей типа корпуса газогенератора из конических заготовок. — «Авиационная промышленность», 1969, № 5.

Сизов Е. С., Разумилов В. Д., Дорохин С. А., Хлебников А. Г. Изготовление тонкостенных полых деталей из листа пульсирующей вытяжкой с гофрообразованием. — «Кузнечно-штамповочное производство», 1972, № 1.

Сизов Е. С., Петров С. А., Кац В. А., Стариковский Н. А. Глубокая вытяжка полых деталей с пульсацией периферийной заготовки. — «Авиационная промышленность», 1974, № 11.

Горбунов М. Н., Попов О. В. Интенсификация процессов холодной штамповки. М., МДНТП, 1958.

Давыдов Ю. П., Покровский Г. В. Технология листовой штамповки титановых сплавов. М., «Машиностроение», 1963.

Сизов Е. С., Разумилов В. Д., Дорохин С. А. Пульсирующая вытяжка с нагревом и гофрообразованием. — «Кузнечно-штамповочное производство», 1972, № 3.

Исаченков Е. Н. Штамповка резиной и жидкостью. М., Машгиз, 1963.

Сизов Е. С., Махов Ю. С. Штамповка деталей из листа и труб жидкостью по жесткому пуансону. — «Авиационная промышленность», 1974, № 8.

Сизова К. Г. Штамповка-вытяжка полых деталей пластичным металлом. — «Авиационная промышленность», 1962, № 6; 1966, № 3.

Сотовые звукопоглощающие конструкции (ЗПК) для силовых установок. РТМ-1542—76. НИИСУ.

Технология листовой штамповки деталей из нержавеющей стали. ПИ-1.4.097. НИАТ, 1976.

Технология листовой штамповки деталей из титановых сплавов. ПИ-268—76. НИАТ.

Пихтовников Р. В., Завьялова В. И. Штамповка взрывом листовых деталей. М., «Машиностроение», 1964.

Организация производства обработки металлов взрывом. Сб. Технология материалов. Под ред. С. М. Лещенко. НИАТ, 1969.

Электрогидравлическая штамповка деталей сложных форм. РТМ-1262—71. НИАТ.

Изготовление деталей из прессованных профилей алюминиевых, титановых и магниевых сплавов. РТМ-1527—75. НИАТ.

Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью. М., «Машиностроение», 1967.

Бирюков Н. М., Борисов Ю. Д. Предельные возможности гибки-формовки деталей из листа резиной. Труды НИАТ № 261. 1968.

Комаров А. Д. Определение величины упругой отдачи листовых металлов при штамповке-гибке резиной криволинейных бортов. — «Кузнечно-штамповочное производство», 1963, № 5.

ОСТ 1.41521—75. «Штамповка-вытяжка и гибка-формовка листовых деталей эластичной средой на гидропрессах».

ОСТ 1.51813—75. «Оснастка для штамповки-вытяжки листовых деталей эластичной средой на гидропрессах».

ОСТ 1.41466—73. «Штамповка листовых подсечек эластичной средой».

ГОСТ 22420—77 ÷ ГОСТ 22435—77 «Универсально-сборочные штампы для листовой штамповки с применением эластичной среды. Детали и сборочные единицы. Технические условия».

Комаров А. Д. Методические указания по проектированию технологической оснастки для штамповки деталей из листовых материалов эластичной средой. РДМУ 95—77. М., изд. «Стандарты», 1978.

ВВЕДЕНИЕ

Горячая объемная штамповка как метод изготовления заготовок деталей широко применяется в современном производстве летательных аппаратов, что объясняется высокой производительностью процесса, хорошими механическими свойствами деформированных заготовок, идентичностью их размеров и конфигурации в пределах установленных отклонений. Взаимозаменяемость заготовок, изготовленных горячей штамповкой, позволяет применять точные приспособления для их механической обработки, что повышает точность обработанных деталей при меньших затратах на обработку. Припуски на механическую обработку штампованных заготовок в большинстве случаев можно назначать минимальными, это дает значительную экономию металла и снижает объем последующей механической обработки. Поверхности горячештампованных заготовок из конструкционных сталей, алюминиевых и магниевых сплавов не требуют дополнительной механической обработки, за исключением стыкуемых поверхностей, хотя специальные технологические процессы штамповки, например с применением холодной чеканки или горячей калибровки штампованных заготовок, могут заменить механическую обработку и этих стыкуемых поверхностей.

Необходимо отметить, что изготовление горячештампованных заготовок, наиболее полно удовлетворяющих требованиям в отношении механических свойств, точности и шероховатости поверхности деталей, по сравнению с заготовками, выполненными другими способами, например литьем, механической обработкой, сваркой и т. д., часто обходится гораздо дороже. Поэтому технологической отработке конструкций деталей из заготовок, изготовляемых горячей штамповкой, следует уделять особое внимание на всех стадиях проектирования, начиная с эскизного проекта и разработки общих видов изделия и отдельных узлов.

Основное правило, которым следует руководствоваться при проектировании, — предусматривать на таких деталях как можно больше необрабатываемых поверхностей, учитывая специфику горячей штамповки; на чертеже следует указывать линии разреза, штамповочные уклоны на необрабатываемых поверхностях, нужные радиусы переходов и

закруглений, точные соотношения между высотами и толщинами ребер и т. д.

Для того чтобы технические характеристики, получаемые при проектировании и изготовлении опытных изделий, не отличались от фактических, получаемых в условиях серийного производства, необходимо, чтобы детали, которые в серийном производстве будут изготавливаться из штампованных заготовок, в опытном производстве изготавливались из кованных, прессованных или катаных заготовок на металлорежущих станках с соблюдением соответствующих штамповочных уклонов, радиусов переходов и закруглений, толщины и высоты ребер и т. д.

Увеличение стоимости изготовления опытных изделий окупается ускорением их освоения в серийном производстве и получением качественных характеристик опытного изделия, близких к серийному.

В части IV приведены рекомендации по выбору рациональной формы деталей, общей их компоновке, оптимальным соотношениям конструктивных элементов горячештампованных заготовок, которыми следует руководствоваться при проектировании. В исключительных случаях могут быть допущены отклонения от приводимых рекомендаций в сторону их ужесточения. Однако следует помнить, что повышение точности или ужесточения конструктивных элементов штампованных заготовок влечет за собой увеличение количества потребной оснастки и специального штамповочного оборудования, удлиняет цикл производства, а следовательно, повышает стоимость производства заготовок. Поэтому такие вопросы следует решать совместно с технологом — специалистом по горячей штамповке.

Конструктивные элементы необрабатываемых мест деталей площадью проекции до 480 см² и длиной до 500 мм, заготовки для которых изготовляют на молотах и прессах, а также допуски на размеры этих мест назначаются соответственно по ОСТ 1.41188—78 и ОСТ 1.41187—78, для деталей больших габаритных размеров — по ТРосв 82—12—72.

Глава 1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ВЫБОР МАТЕРИАЛА

При выборе материала для деталей из горячештампованных заготовок необходимо учитывать не только его соответствие условиям работы детали, но и штампуемость (способность к пластическому деформированию) и обрабатываемость резанием. Применяемые марки материалов необходимо унифицировать и сокращать до минимума, так как их большое количество усложняет серийное производство из-за различия режимов горячей обработки и возможности перепутывания марок материалов.

Для изготовления деталей из горячештампованных заготовок рекомендуется применять следующие материалы, освоённые в серийном производстве:

— конструкционные стали 25, 45, 30ХГСА, 30ХГСНА, 12ХНЗА, 12Х2НЧА, 18Х2Н4ВА, 38ХА, 40ХН2ВА, 40ХН2МА, 38Х2МЮА, ЭИ643, Х16Н2;

— нержавеющие стали 18ХГТ, 1Х18Н9Т, 2Х13, 3Х13, 4Х13, ВНС-2, ВНС-5;

— алюминиевые сплавы АК6, АК8, Д16, В93, В95, АК4-1, АМц, АМг3, АМг6;

— магниевые сплавы МА1, МА2, МА3, МА5, МА8, МА14;

— титановые сплавы ВТ3-1, ВТ5, ВТ6, ВТ8, ВТ9, ВТ14, ВТ16, ВТ20, ВТ22, ОТ4, ОТ4-1, ОТ4-0.

При назначении других материалов следует консультироваться с технологами по горячей штамповке.

Более подробные сведения о конструкционных материалах изложены в Справочнике по авиационным материалам (ВИАМ, 1975).

КОМПОНОВКА ДЕТАЛЕЙ

Детали, изготавливаемые из штампованных заготовок, должны иметь по возможности простую геометрическую форму и плавные переходы от одного сечения к другому с обязательным соблюдением рекомендуемых соотношений между отдельными конструктивными элементами.

На рис. IV.1.1 показан рычаг нетехнологичной конструкции с сильно развитой головкой. Для повышения технологичности детали необходимо уменьшить высоту головки или выполнить ее из двух частей.

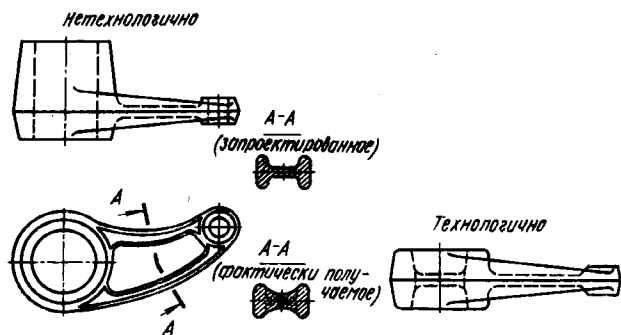


Рис. IV.1.1. Рычаг.

Штампованную заготовку измененной детали можно выполнить со сквозным отверстием в большой головке (технологичный вариант), что облегчит последующую механическую обработку.

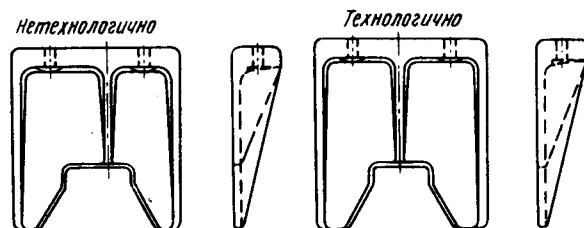


Рис. IV.1.2. Стыковой фитинг.

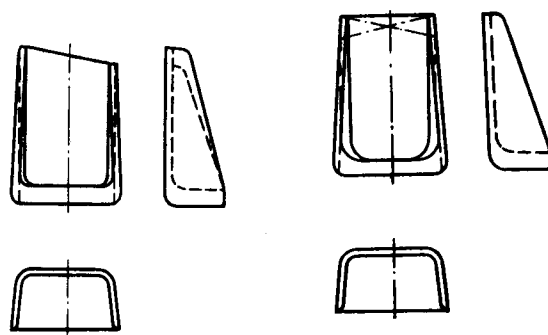


Рис. IV.1.3. Пример рациональной конфигурации стыкового фитинга.

Рис. IV.1.4. Правильная заготовка стыкового фитинга. Diagram showing a cross-section of a flange with a correct configuration, labeled 'Рис. IV.1.4. Правильная заготовка стыкового фитинга.'

Правые и левые детали одного типоразмера по возможности проектировать так, чтобы их можно было изготавливать из одной и той же заготовки. На рис. IV.1.2 приведена правая деталь (нетехнологичный вариант), которой путем изменения расположения среднего ребра придана симметричная форма (технологичный вариант), это дало возможность использовать одну заготовку для правой и левой детали. На рис. IV.1.3 также показана правая деталь, конфигурация которой выбрана удачно. Незначительное изменение размеров позволило придать заготовке симметричную форму (рис. IV.1.4) и использовать ее для изготовления правой и левой деталей.

Цельноштампованные детали иногда целесообразно заменять деталями, состоящими из отдельных штампованных и сваренных между собой частей. На рис. IV.1.5 приведена нетехнологичная цельноштампованная деталь, ее заготовка и эта же деталь, сваренная из отдельных простых штампованных элементов. Такое изменение конструкции значительно снижает расход металла и объем механической обработки.

Характерным примером неудачной конфигурации является качалка, изображенная на рис. IV.1.6, а. Заготовка для этой детали (рис. IV.1.6, б) изготавливается в сложном трехручьевом молотовом штампе. Отходы на облой составляют около 60% от ее заготовки. На рис. IV.1.6, в показана заго-

товка качалки измененной конструкции (технологичный вариант). Штамповка одной половины заготовки не вызывает затруднений.

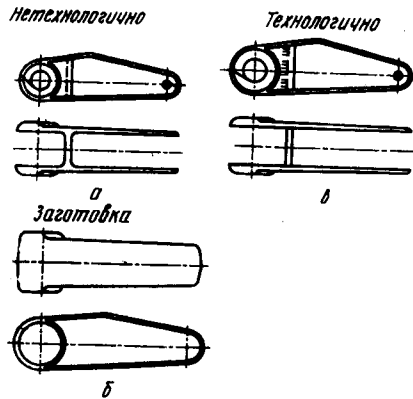


Рис. IV.1.5. Рычаг (а) из штампованной заготовки (б) и рычаг (в), сваренный из штампованных элементов.

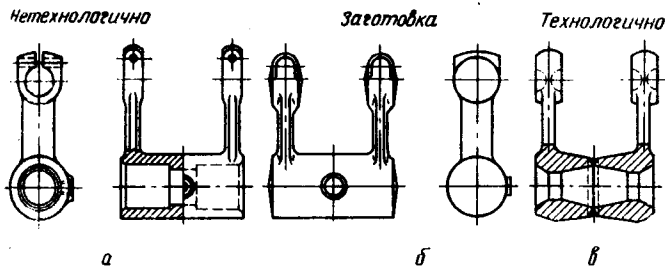


Рис. IV.1.6. Качалка с тонкими длинными рычагами (а) из штампованной заготовки (б) и качалка, сваренная из штампованных элементов (в).

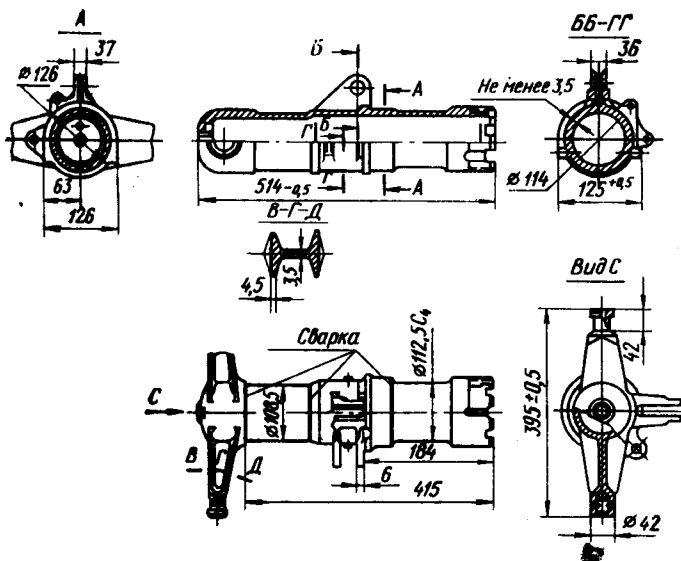


Рис. IV.1.7. Цилиндр шасси нетехнологичной конструкции.

Деталь, приведенная на рис. IV.1.7, запроектирована цельноштампованной. Хотя отдельные элементы детали, например головка и центральная часть, технологичны, в целом деталь может служить примером того, как из отдельных технологичных элементов может быть создана нетехнологичная конструкция детали.

Заготовку для этой детали целесообразно изготовлять только свободной ковкой, так как штампованная заготовка будет грубой, с большими припусками и напусками, кроме того, потребует больших затрат на оснастку и подготовку исходной заготовки. Такую деталь целесообразно выполнять сварной, тогда наиболее сложные элементы детали — головную и центральную части — можно изготовить горячей штамповкой с небольшой последующей механической обработкой.

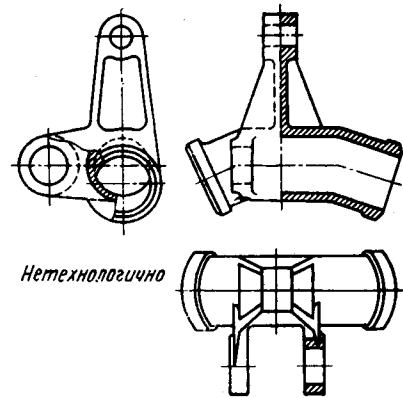


Рис. IV.1.8. Траверса из штампованной заготовки.

Типичная деталь, не пригодная для горячей штамповки, приведена на рис. IV.1.8. Большой расход металла, быстрый износ штампа и большой объем механической обработки снижают экономический эффект штамповки и в данном случае делают ее нецелесообразной.

Следует избегать узких тонких отростков, расположенных в плоскости разреза или перпендикулярно к ней. Штамповка заготовок деталей с узкими отростками, расположенными в плоскости разреза (рис. IV.1.9), вызывает повышенный расход металла, быстрый износ штампа в зоне отростков и дополнительную (иногда ручную) правку отростков после обрезки облоя.

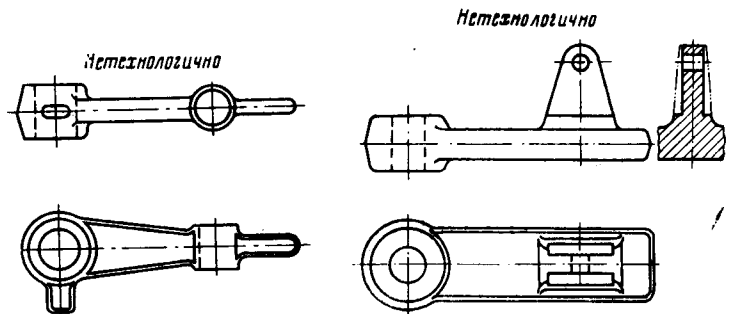


Рис. IV.1.9. Рычаг с узким тонким отростком.

Рис. IV.1.10. Рычаг с тонким высоким выступом.

Узкие отростки, расположенные перпендикулярно разрезу (рис. IV.1.10), выполняются в штампованных заготовках со значительными припусками на механическую обработку и технологическими напусками. Для доведения таких заготовок до окончательных размеров требуется значительная механическая обработка.

Не рекомендуется придавать деталям форму, вызывающую значительное коробление при обрезке облоя и термической обработке (рис. IV.1.11). Образование перемычки на детали резко снижает коробление.

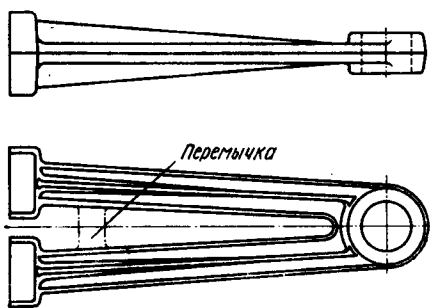


Рис. IV.1.11. Стойка нетехнологичной конструкции.

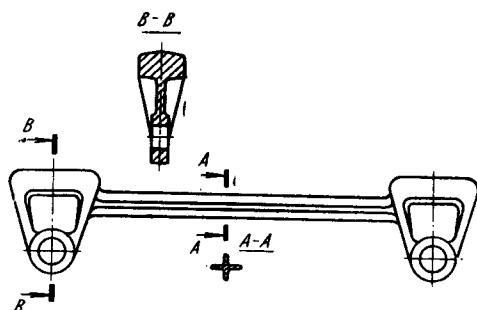


Рис. IV.1.12. Балка нетехнологичной конструкции.

В детали, приведенной на рис. IV.1.12, массивные законцовки связаны стержнем сравнительно небольшого сечения. Такая конфигурация детали вызывает значительное коробление штампованной заготовки при остывании после деформирования, нагреве и остывании при термической обработке. Кроме того, штамповка заготовки для такой детали связана с необходимостью предварительного распределения материала исходной заготовки в соответствии с конфигурацией детали, что весьма трудно.

Оптимальным вариантом данной детали является сварная конструкция, при этом штампованные законцовки привариваются к стержню, изготовленному из прессованного или катаного профиля крестообразного сечения, или к трубе.

ЛИНИЯ РАЗЪЕМА

При проектировании деталей необходимо придавать им такую конфигурацию, чтобы линия разреза лежала в одной плоскости или максимально к этому приближалась. Оснастка для таких деталей используется более простая и дешевая. Кроме того, процесс штамповки заготовок с разрезом по прямой линии протекает легче и дает меньший процент брака, чем с разрезом по ломаной линии. Однако в некоторых случаях целесообразно отступить от этого правила, в особенности, когда ломаная линия разреза снижает массу штампованной заготовки и обеспечивает получение некоторых поверхностей без механической обработки (без штам-

повочных уклонов). Например, прямая линия разреза для детали, показанной на рис. IV.1.13, а, приводит к необходимости механической обработки ее по наружному и внутреннему контурам, в то время как при ломаной линии разреза (рис. IV.1.13, б) наружный и внутренний контуры детали не требуют механической обработки. Поэтому расположение линии разреза для деталей сложной конфигурации следует назначать совместно с опытным специалистом по горячей штамповке.

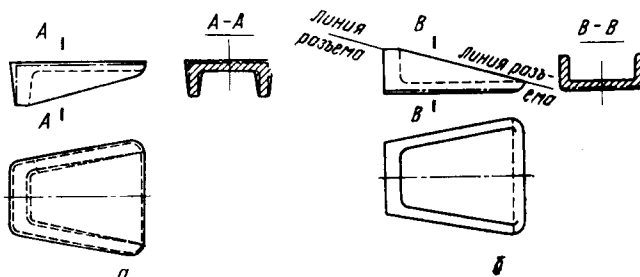


Рис. IV.1.13. Варианты линии разреза стыкового фитинга.

Правильно выбранная линия разреза не должна усложнять конструкций ковочного и обрезного штампов. На рис. IV.1.14 приведен рычаг с двумя вариантами линии разреза. В нетехнологичном варианте (слева) линия разреза усложняет штамповку и искажает конфигурацию рычага. Справа на рисунке показано правильное расположение линии разреза.

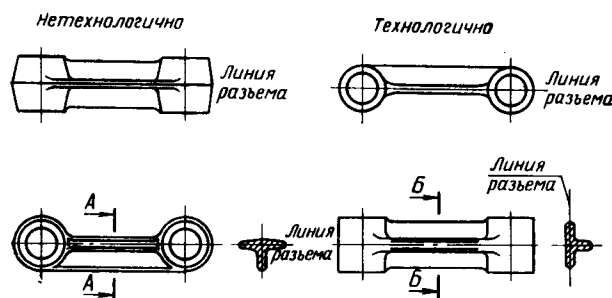


Рис. IV.1.14. Варианты линии разреза рычага.

Детали, которые по конфигурации следует изготавливать с ломаной линией разреза, необходимо проектировать таким образом, чтобы участки ломаной линии были наклонены к горизонтальной плоскости под углом, не превышающим 60° . На рис. IV.1.15, слева показана деталь с ломаной линией разреза. Отрезок I—II имеет наклон более 60° , что способствует быстрому износу штампа и

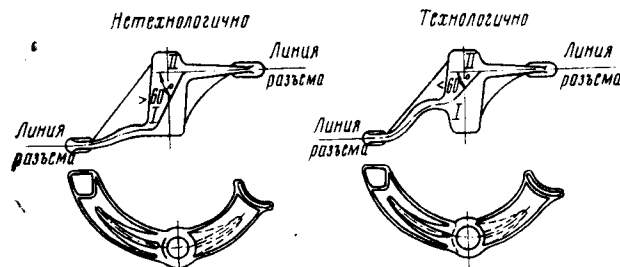


Рис. IV.1.15. Линия разреза детали с отростками, расположенными в разных плоскостях.

получению нечистого среза облоя. Справа представлена деталь, у которой отрезок I—II наклонен под углом меньше 60° , что значительно улучшает условия штамповки и обрезки облоя. В деталях с двусторонними выступами, ребрами или выемками линию разреза следует намечать посередине боковой поверхности наибольшего периметра детали. Такое расположение линии разреза облегчает визуальный контроль возможного смещения одной половинки штампованной заготовки относительно другой.

На рис. IV.1.16 приведены детали с двусторонними выступами с правильным и неправильным вариантами расположения линии разреза.

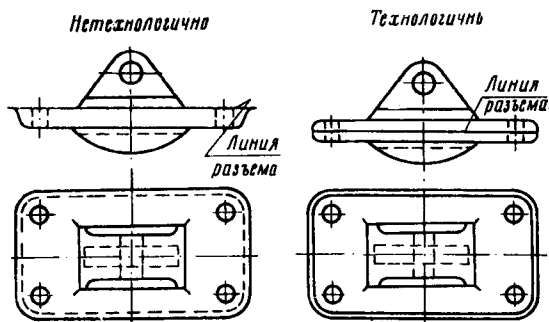


Рис. IV.1.16. Линия разреза детали с двусторонними выступами.

В деталях коробчатых (рис. IV.1.17) и уголко-вых (рис. IV.1.18) сечений линия разреза должна проходить через вершины стенок. При расположе-

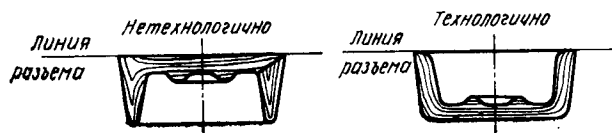


Рис. IV.1.17. Линия разреза в коробчатых сечениях.

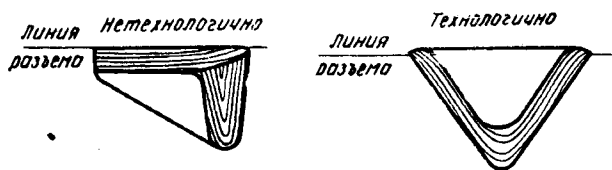


Рис. IV.1.18. Линия разреза в уголко-вых сечениях.

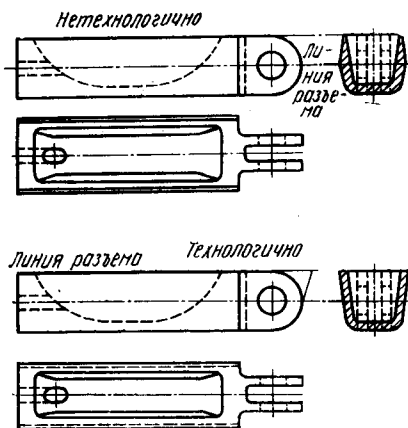


Рис. IV.1.19. Линия разреза у детали с односторонней выемкой.

нии линии разреза по дну штампованной заготовки направление волокон менее благоприятно, следовательно, механические свойства таких деталей в местах выхода металла в облой будут хуже.

При проектировании следует учитывать возможность расположения детали в одном бойке штампа (рис. IV.1.19). В общих случаях желательно, чтобы линия разреза проходила по наибольшему периметру детали.

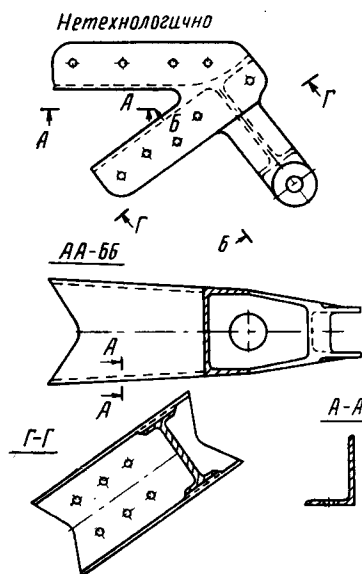


Рис. IV.1.20. Стыковой узел.

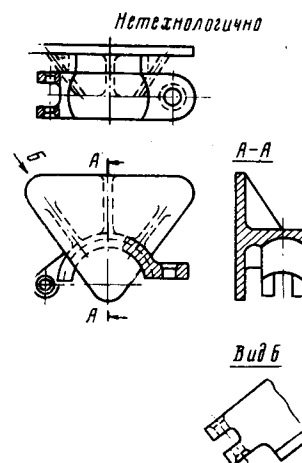


Рис. IV.1.21. Хомут.

На рис. IV.1.20 и IV.1.21 приведены детали нетехнологичной конструкции, спроектированные без учета специфики кузнечной технологии. При любых вариантах расположения линии разреза придать заготовке более или менее рациональную форму не представляется возможным.

ШТАМПОВОЧНЫЕ УКЛОНЫ

Штамповочные уклоны необходимы для удаления отштампованной заготовки из полости штампа. Размер штамповочного уклона зависит от конструкции оборудования, а также конфигурации, габаритных размеров и материала штампуемой заготовки.

В конкретных случаях, когда конфигурация, габаритные размеры и материал известны, размер уклона зависит от высоты h детали (или элемента детали, которому придается штамповочный уклон) (рис. IV.1.22).

Различают штамповочные уклоны двух видов (рис. IV.1.23): наружные α и внутренние β .

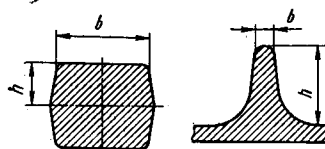


Рис. IV.1.22. Конструктивные элементы сечений, определяющие штамповочные уклоны.

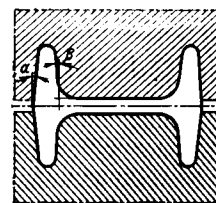


Рис. IV.1.23. Штамп-овочные уклоны: α — наружный; β — внутренний.

Для лучшего удаления отштампованной заготовки из полости штампа размер штамповочных уклонов внутренних поверхностей всегда должен быть больше наружных. Это объясняется тем, что в процессе штамповки заготовка, охлаждаясь, уменьшается в своих размерах по внутренней поверхности на величину, соответствующую усадке материала, и зажимает выступающие части штампа. Это усложняет удаление заготовки из штампа. По наружной поверхности размеры заготовки при охлаждении уменьшаются, что облегчает удаление ее из полости штампа.

Практически не всегда бывает целесообразно назначать разные штамповочные уклоны на наружных и внутренних поверхностях. Например, разные штамповочные уклоны на ребрах двутавровых и швеллерных сечений усложняют изготовле-

ние штампа. Наиболее распространенными являются штамповочные уклоны $5-7^\circ$ для деталей из стали и титановых сплавов и $3-5^\circ$ для деталей из легких сплавов.

Если на отдельных участках детали получаются разные штамповочные уклоны, то их нужно унифицировать, сделав разные штамповочные уклоны только в местах, не вызывающих затруднения при изготовлении штампов.

При штамповке на оборудовании, имеющем специальные выталкивающие устройства, размер штамповочных уклонов может быть снижен до $2-5^\circ$ для деталей из стали и титановых сплавов и $1,5-3^\circ$ для деталей из легких сплавов. Размеры штамповочных уклонов для деталей (или их элементов) из различных материалов приведены в ОСТ 1.41188—78.

Глава 2. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ

Детали в зависимости от своего назначения и испытываемых в процессе работы нагрузок komponуются из различных конструктивных элементов: полотен, ребер, бобышек, выемок и выступов различных конфигураций, радиусов переходов, сопряжений и закруглений и т. д. Соотношения размеров необрабатываемых конструктивных элементов деталей, изготовляемых из штампованных заготовок, не могут быть произвольными, они лимитируются технологическими свойствами материала деталей и возможностями кузнечного производства на данном этапе.

Необрабатываемые конструктивные элементы деталей, соотношение размеров которых жестче нижеприведенных, являются нетехнологичными.

Детали оцениваются как нетехнологичные в двух случаях:

— когда они состоят из нетехнологичных конструктивных элементов, хотя и правильно скомпонованных;

— когда они неправильно скомпонованы из отдельных технологичных конструктивных элементов.

Следовательно, необходимыми и достаточными условиями для оценки детали как технологичной является правильная ее компоновка из отдельных необрабатываемых технологичных конструктивных элементов.

Основными конструктивными элементами, определяющими технологическую сложность детали, являются полотна, ребра и различные радиусы.

ТОЛЩИНА И ШИРИНА ПОЛОТНА

Толщина полотна оказывает решающее влияние как на массу детали, получаемой из штамповки без механической обработки полотна, так и на сложность получения полотна малых толщин методами горячей штамповки.

По степени сложности получения тонкого полотна формы сечений деталей могут быть разделены на две группы (рис. IV.2.1):

1. Открытые (тавровые и крестообразные), закрытые (двутавровые и швеллерные) с отверстиями облегчения и плоские, утолщающиеся на всей длине детали (а).

2. Закрытые и плоские постоянной толщины (б). Оформление полотна второй группы значительно сложнее.

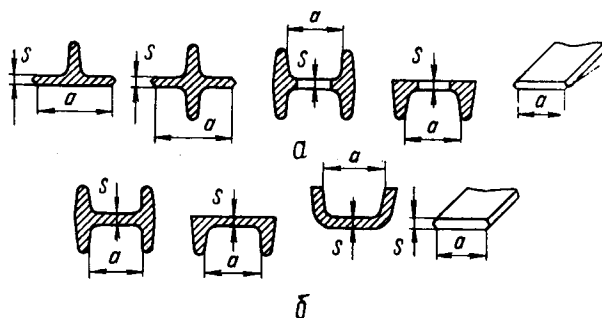


Рис. IV.2.1. Конструктивные элементы сечений, определяющие ширину полотна.

По идентичности технологических свойств материалы могут быть разделены на следующие группы:

- алюминиевые и магниевые сплавы;
- сталь среднелегированная, конструкционная;
- сталь нержавеющая и титановые сплавы.

Трудность оформления полотен возрастает от первой группы материалов к третьей. Чем больше отношение ширины a полотна к толщине s (a/s), тем труднее оформить тонкое полотно. Чем больше отношение длины l полотна к ее ширине (l/a) при постоянной площади, тем легче происходит оформление полотна. Минимальные толщины полотен для различных случаев приведены в ОСТ 1.41188—78, табл. 2—7.

Ширина полотна плоского сечения зависит от материала детали и толщины полотна. Наибольшие ширины полотен плоских сечений в зависимости от их толщины для различных материалов приведены в ОСТ 1.41188—78, табл. 8. Наименьшая

ширина полотна плоского сечения практически не ограничивается.

На тонких полотнах плоских сечений целесообразно предусматривать отверстия облегчения (рис. IV.2.2) желательной площадью не менее 50% площади полотна. В этом случае отверстие облегчения может быть использовано как приемник избыточного металла в процессе штамповки, что облегчает оформление тонкого полотна.

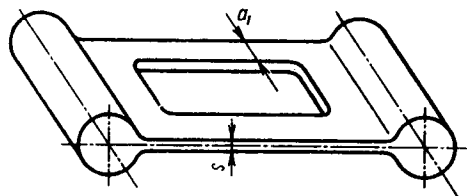


Рис. IV.2.2. Полотно с отверстием облегчения.

Определение толщин полотен плоских сечений при наличии отверстий облегчения и наибольшего расстояния от отверстия облегчения до края полотна осуществляется по ОСТ 1.41188—78.

Отверстие облегчения может быть получено просечкой после штамповки, если наименьшая толщина стенки $a_{1\min}$ (см. рис. IV.2.2) не менее двух толщин полотна, т. е. $a_{1\min} \geq 2s$. При меньших значениях $a_{1\min}$ контур отверстия облегчения следует подвергать механической обработке после просечки.

В деталях с открытыми сечениями (тавровыми и крестообразными) условия для оформления тонкого полотна более благоприятны, чем в деталях с плоскими сечениями. Наличие ребер, расположенных в середине полотна, фактически уменьшает ширину собственно полотна, способствует сохранению тепла в процессе штамповки, чем облегчает оформление полотна. Чем выше ребро, тем больше может быть ширина полотна открытого сечения (при прочих равных условиях). Наибольшая и наименьшая ширина полотен открытых сечений для различных случаев приведена в ОСТ 1.41188—78, табл. 9.

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ РЕБРАМИ

Расстояние между ребрами закрытых сечений (двутавровых и швеллерных) зависит от высоты ребер, толщины полотна и материала детали.

Наименьшее расстояние между ребрами зависит главным образом от высоты ребра — чем выше ребра, тем больше должно быть минимальное расстояние между ними. При высоких ребрах и недостаточном расстоянии между ними выступ штампа, формирующий полотно, быстро изнашивается (рис. IV.2.3).

Наиболее сложными с точки зрения оформления тонкого полотна являются закрытые сечения. Ребра, расположен-

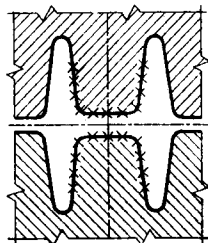


Рис. IV.2.3. Быстроизнашивающийся выступ штампа.

ные по краям полотна, хотя и способствуют сохранению тепла в полотне при штамповке, однако препятствуют вытеснению избыточного металла из полости штампа при штамповке, чем значительно усложняют получение тонкого полотна.

Наибольшие и наименьшие расстояния между ребрами закрытых сечений приведены в ОСТ 1.41188—78, табл. 10.

ТОЛЩИНА И ВЫСОТА РЕБЕР

Получение штамповок с тонкими полотнами и высокими, тонкими ребрами представляет значительную технологическую трудность. Неправильно выбранные соотношения высоты и толщины ребер, как правило, приводят в процессе штамповки к образованию различных дефектов: складок, зажимов, прострелов, незаполнений и т. п. В открытых сечениях высота h ребра зависит от толщины b ребра, отношения ширины a сечения к толщине s полотна (рис. IV.2.4) и материала штам-

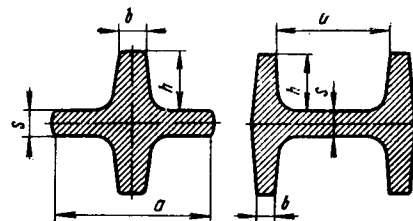


Рис. IV.2.4. Конструктивные элементы сечений.

пующей заготовки. В общем виде эта зависимость выражается эмпирической формулой

$$h = K_0 b^2 \left(\frac{a}{s} \right),$$

где K_0 — коэффициент, определяемый по табл. IV.2.1.

Таблица IV.2.1
Значения коэффициента K_0

Материал штампуемой заготовки							
цветные сплавы				стали			
Класс конструктивных элементов							
4		5		4		5	
Отношение a/s							
до 20	св. 20	до 20	св. 20	до 15	св. 15	до 15	св. 15
0,12	0,05	0,08	0,03	0,17	0,07	0,13	0,06

Полученные значения h и b должны быть скорректированы в соответствии с данными ОСТ 1.41188—78, табл. 13 и 14. В закрытых сечениях (см. рис. IV.2.4) высота h ребра зависит от тол-

щины b ребра, отношения расстояния a между ребрами к толщине s полотна и непосредственно от расстояния между ребрами. Эта зависимость имеет выражение

$$h = K_3 \cdot b^2 \left(\frac{a}{s} \right) \sqrt{a},$$

где K_3 — коэффициент, определяемый по табл. IV.2.2.

Таблица IV.2.2

Значения коэффициента K_3

Расстояние между ребрами, мм	Материал штампуемой заготовки							
	цветные сплавы				стали			
	Класс конструктивных элементов							
	4		5		4		5	
	Отношение a/s							
	до 20	св. 20	до 20	св. 20	до 15	св. 15	до 15	св. 15
До 40	0,023	0,009	0,015	0,006	0,042	0,016	0,03	0,011
Св. 40 до 80	0,016	0,007	0,011	0,004	0,030	0,013	0,02	0,009
Св. 80 до 125	0,009	0,0035	0,0045	0,0024	0,017	0,007	0,01	0,005
Св. 125 до 180	0,005	0,002	0,0037	0,0016	0,010	0,0045	0,0065	0,0033
Св. 180 до 250	0,0032	0,0015	0,0020	0,0012	0,006	0,0032	0,0042	0,0022

Полученные значения h и b должны быть скорректированы в соответствии с данными ОСТ 1.41188—78, табл. 15—18.

РАДИУСЫ СОПРЯЖЕНИЙ, ПЕРЕХОДОВ И ЗАКРУГЛЕНИЙ

Радиусы сопряжений R ребер, бобышек или других элементов штампованных заготовок с полотнами, как и радиусы переходов R_1 между ребрами

(рис. IV.2.5), имеют весьма существенное значение, так как именно в этих местах чаще всего образуются дефекты, являющиеся следствием сложных напряжений, возникающих в деформируемом объеме и сложных перемещений металла при заполнении полости. Практически установлено, что участки полости штампов с недостаточными по значению радиусами сопряжений и переходов быстро изнашиваются, но достигая определенной оптимальной величины, состояние их стабилизируется. Кроме того, такие радиусы могут привести к образованию неисправимых дефектов у основания ребер и на их стенках.

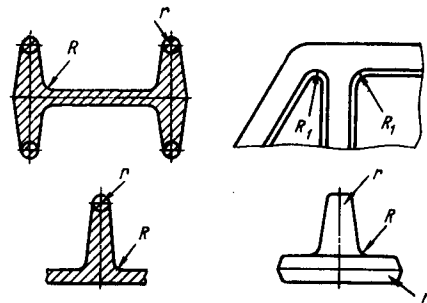


Рис. IV.2.5. Радиусы сопряжений, переходов и закруглений.

Радиусы закруглений r кромок штампованных заготовок (см. рис. IV.2.5), а также выступов и ребер не имеют решающего значения для процесса деформирования, но тем не менее влияют на качество штампованных заготовок и стойкость штампов. Опыт показывает, что недостаточные по значению радиусы закругления могут привести к образованию трещин термического, усталостного и разгарного происхождения внутри полости штампа, где оформляются кромки, ребра и выступы. Кроме этого, небольшие радиусы закругления плохо заполняются металлом в процессе деформирования. Это особенно ощутимо при деформировании металлов с низкой теплопроводностью, например титановых сплавов, поверхность штампованных заготовок которых, в особенности кромки, сравнительно быстро охлаждаются.

Значения радиусов сопряжений, переходов и закруглений приведены в ОСТ 1.41188—78.

Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

УКРУПНЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ

Укрупненная классификация деталей (см. схему) по конструктивным признакам включает основные, наиболее распространенные формы деталей, встречающихся в различных конструкциях летательных аппаратов. К деталям с ребрами относятся стыковые фитинги, кронштейны, балки и другие детали с односторонним или двусторонним оребрением.

Типовыми представителями деталей с бобышками и отверстиями в них являются рычаги и качалки. К длинномерным деталям, изготавливаемым из стальных труб, относятся детали шасси, валы и подкосы вертолетов, из дуралюминовых труб — тяги управления, баллоны и др. К группе деталей с отростками и полостями относятся корпуса, стаканы и часть фитингов арматуры (угольники, тройники, крестовины), сюда же относятся тонкостенные стаканы, втулки и др.

Укрупненная классификация деталей



ДЕТАЛИ С РЕБРАМИ

С точки зрения получения заготовок ребристых деталей методами горячей штамповки детали с двутавровыми и швеллерными сечениями, как менее технологичные, рекомендуется заменять деталями с крестообразными и тавровыми сечениями. Такая замена упрощает штамповую оснастку и сокращает технологический цикл изготовления штамповок (рис. IV.3.1).

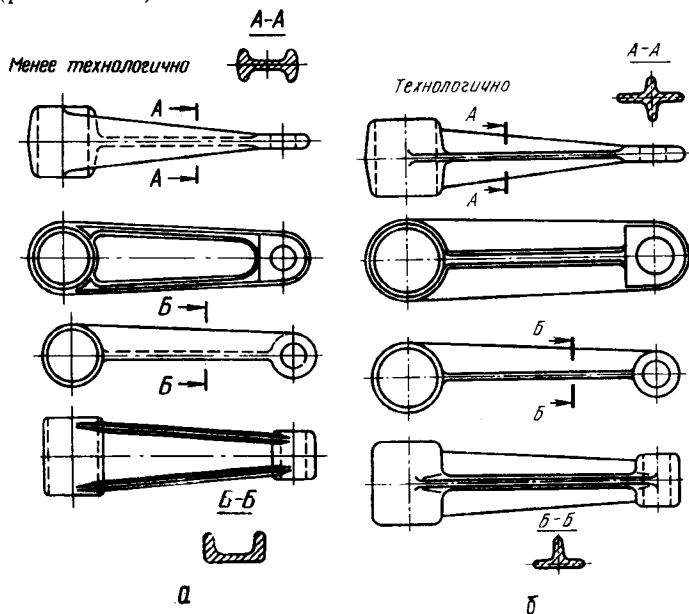


Рис. IV.3.1. Качалка с закрытыми (а) и открытыми (б) сечениями.

Из швеллерных сечений более технологичным является сечение, приведенное на рис. IV.3.2, справа, оно обеспечивает лучшее расположение волокон.



Рис. IV.3.2. Типы швеллерных сечений.

Рис. IV.3.3. Пример использования отверстия облегчения в качестве приемника избыточного металла.

При проектировании деталей с закрытыми сечениями рекомендуется предусматривать на полотне отверстия облегчения, которые при штамповке могут быть использованы как дополнительные приемники избыточного металла. Это снижает возможность образования различного рода дефектов у основания ребер и одновременно повышает стойкость штампа вследствие уменьшения как количества перемещающегося перпендикулярно ребрам металла, так и площади тонкого полотна.

На рис. IV.3.3 показано использование отверстия облегчения для указанной цели. Площадь отверстия облегчения должна составлять не менее 50% от площади тонкого полотна (рис. IV.3.4), а расстояние A от ребра до края отверстия должно быть не меньше значений, приведенных в табл. IV.3.1. Если расстояние A от ребра до края отверстия меньше значений, указанных в табл. IV.3.1, то контур отверстия следует подвергать механической обработке, так как просечкой отверстие облегчения получить нельзя.

Для усиления кромки отверстия облегчения ей можно придать конфигурацию, показанную на эскизе в табл. IV.3.2. При этом необходимо соблюдать соотношение размеров отдельных элементов, приведенных в этой таблице.



Рис. IV.3.4. Размер отверстия облегчения.

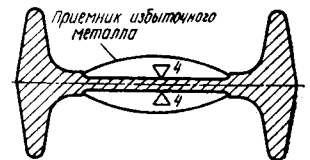


Рис. IV.3.5. Пример механической обработки полотна на участке образования приемника избыточного металла.

Таблица IV.3.1

Расстояние от ребра до края отверстия

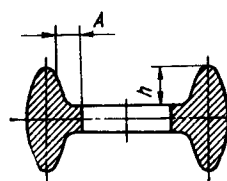
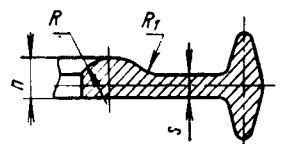


Таблица IV.3.2

Конструктивные элементы усиления кромок отверстия



мм		мм		
Высота ребра h	Расстояние A от ребра до края отверстия (не менее)	Высота усиления h	R	R_1
До 5	8	До 4	6	10
5—10	12	4—8	10	15
10—15	15	8—12	15	20
15—20	20	12—16	20	25
20—25	25	16—20	20	25
25—30	25	20—25	25	30
30—40	30			
40—50	35			
50—60	35			
60—70	40			

В тех случаях, когда отверстия облегчения выполнить нельзя, на определенных участках с одной или двух сторон полотна рекомендуется ввести механическую обработку (рис. IV.3.5), тогда эти участки можно будет использовать как приемники избыточного металла, что облегчит процесс штамповки и повысит точность.

Жесткость деталей с открытыми сечениями можно повысить усилением кромок сечений, как показано на рис. IV.3.6.

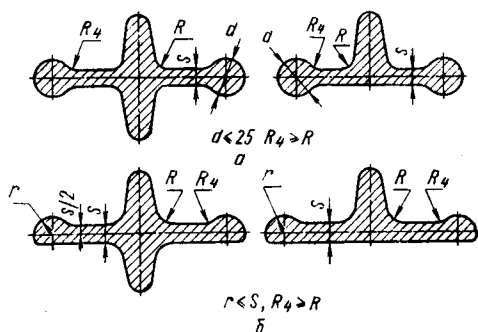


Рис. IV.3.6. Усиление кромок открытых сечений:

а — двустороннее; б — одностороннее.

В швеллерных сечениях (рис. IV.3.7, а) толщина полотна s не должна быть меньше толщины стенки b (желательно, чтобы s было больше b).

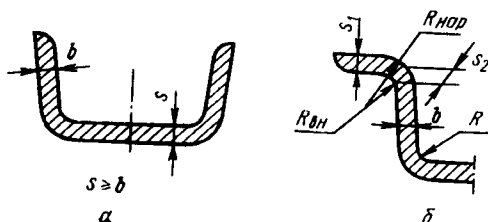


Рис. IV.3.7. Конструктивные элементы швеллерных сечений.

Для швеллерного сечения с фланцем (рис. IV.3.7, б) рекомендуются следующие соотношения конструктивных элементов: $s_1 = (0,8 \div 1,2)b$;

$$R_{вн \min} = \frac{R}{2}; R_{нар \min} = \frac{R}{2}.$$

Если $s_1 > b$, то $s_2 \geq b$.

Если $s_1 < b$, то $s_2 \geq 0,8b$.

Значения R и b назначать по ОСТ 1.41188—78, табл. 19—22.

Детали с двутавровыми и швеллерными сечениями следует выполнять с одинаковыми штамповочными уклонами по наружным и внутренним поверхностям ребер ($\alpha = \beta$), что значительно упростит и удешевит изготовление штампов.

Следует избегать переменных по толщине ребер, так как такие ребра усложняют и удорожают изготовление штампов. В деталях с переменной высотой ребра (рис. IV.3.8) или с переменным расстоянием между ребрами (рис. IV.3.9) толщину ребра рекомендуется проектировать постоянной и определять по приведенной высоте $h_{пр}$ ребра и приведенному расстоянию $a_{пр}$ между ребрами:

$$h_{пр} = \frac{h_{\max} + h_{\min}}{2} (1 + \sin \alpha) \quad (\text{рис. IV. 3.8, а});$$

$$h_{пр} = 0,5 h_{\max} \quad (\text{рис. IV.3.8, б});$$

$$a_{пр} = \frac{a_{\max} + a_{\min}}{2} (1 + \sin \alpha) \quad (\text{рис. IV. 3.9}).$$

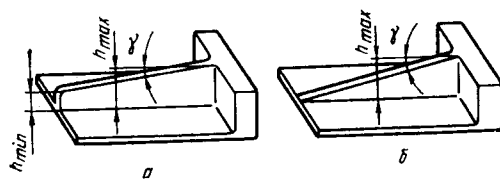


Рис. IV.3.8. Детали с переменной высотой ребра.

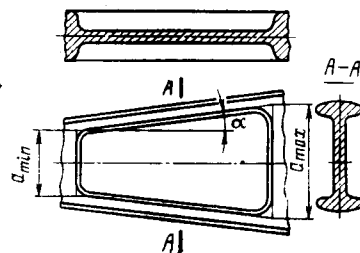


Рис. IV.3.9. Переменное расстояние A между ребрами.

Размер штамповочного уклона зависит от высоты элемента, которому он придается. Выполнить переменный штамповочный уклон вдоль ребра переменной высоты не представляется возможным, поэтому уклон должен быть постоянным, а его размер назначать по приведенной высоте ребра.

Ребра, не симметричные относительно плоскости разреза, можно выполнять по одному из трех вариантов, приведенных на рис. IV.3.10.

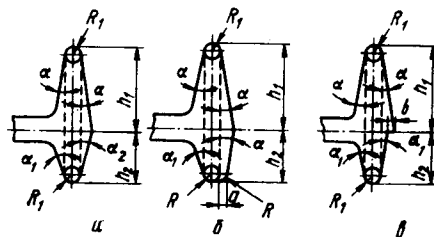


Рис. IV.3.10. Варианты построения несимметричных ребер.

Вариант а. Штамповочный уклон α верхнего ребра назначается в зависимости от h_1 , штамповочный уклон нижнего ребра α_1 — в зависимости от h_2 . Уклон α_2 получается построением, причем $\tan \alpha_2 = \frac{h_1}{h_2} \tan \alpha$.

В зависимости от отношения h_1/h_2 уклон α_2 может иметь самые различные значения. Это несколько усложняет изготовление штампа.

Вариант б. Штамповочные уклоны α и α_1 определяются так же, как и в предыдущем варианте. В этом случае толщина меньшего ребра увеличивается на величину $(h_1 - h_2) \tan \alpha$. Изготовление штампа при такой форме ребра не вызывает затруднений.

Вариант в. Такую форму ребра рекомендуется применять в том случае, когда $(h_1 - h_2)$ не более 10 мм.

С точки зрения простоты изготовления штампа и снижения массы детали вариант *в* является наиболее выгодным, но на практике этот вариант применяется редко ввиду затруднительности визуального контроля за смещением половин штампа в процессе штамповки.

Вариант *б*, хотя и не выгоден с точки зрения утяжеления детали и усложнения изготовления штампа, но дает возможность устанавливать смещение половин штампов визуальным путем. Этот вариант имеет наиболее широкое применение.

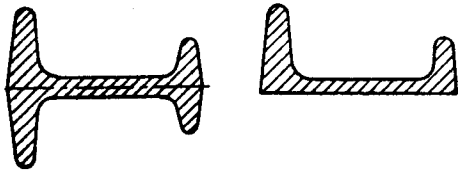


Рис. IV.3.11. Закрытые сечения с разной высотой ребер.

При назначении конструктивных элементов деталей с закрытыми сечениями и не одинаковыми по высоте ребрами (рис. IV.3.11) руководствоваться указаниями ОСТ 1.41188—78.

ДЕТАЛИ С БОБЫШКАМИ И ОТВЕРСТИЯМИ В НИХ

При проектировании подобных деталей необходимо учитывать, что допуск на толщину стенки в головках зависит от отклонений на диаметр головок, допускаемого смещения для данной детали, отклонений на расстояние между центрами головок и от выбранной базы для механической обработки.

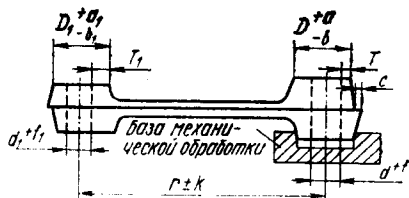


Рис. IV.3.12. Определение допусков на толщину стенок.

Толщины стенок T и T_1 (рис. IV.3.12) могут иметь положительные и отрицательные отклонения от номинальной величины. Размеры этих отклонений определяются следующим образом:

а) для толщины стенки головки, отверстие в которой обрабатывается на базе контура самой головки,

$$T_1 + \left(\frac{a}{2} + c \right) - \left(\frac{b}{2} + c + \frac{f}{2} \right),$$

где a — положительное отклонение для наружного диаметра головки, мм;

b — отрицательное отклонение для наружного диаметра головки, мм;

f — положительное отклонение для диаметра отверстия, мм;

c — допускаемое смещение для данной детали, мм;

б) для толщины стенки головки, отверстие в которой обрабатывается на базе ранее изготовленного отверстия,

$$T_1 + \left(\frac{a_1}{2} + c + k \right) - \left(\frac{b_1}{2} + c + \frac{f_1}{2} + k \right),$$

где k — предельное отклонение на расстояние между центрами, мм.

Если допускаемое чертежом детали уменьшение толщины стенки меньше определяемого по вышеприведенным формулам, то необходимо:

а) на головках, которые являются базой механической обработки, увеличить номинальный диаметр головки на величину N , обеспечивающую получение нужной толщины стенки. Эта величина может быть определена по формуле

$$N = \left[\left(\frac{b}{2} + c + \frac{f}{2} \right) - e \right] \cdot 2,$$

где e — заданное чертежом детали отрицательное отклонение на толщину стенки, мм;

б) на остальных головках, отверстия в которых обрабатываются на базе ранее изготовленного отверстия, можно увеличить номинальный диаметр головки либо на

$$N_1 = \left[\left(\frac{b_1}{2} + c + \frac{f_1}{2} + k \right) - e_1 \right] \cdot 2,$$

либо на

$$N_2 = \left[\left(\frac{b_1}{2} + c + \frac{f_1}{2} \right) - e_1 \right] \cdot 2$$

с дополнительным разномом центров на $2g = 2k$ (рис. IV.3.13).

Пример. Проверить, можно ли обеспечить допуски на толщину стенок в детали, показанной на рис. IV.3.14.

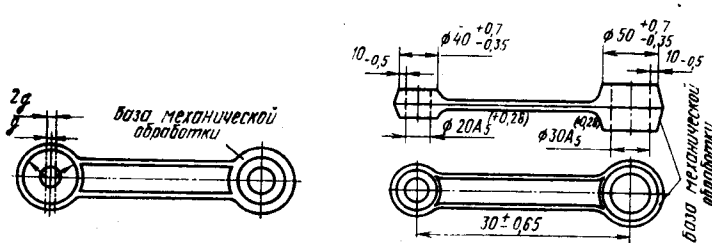


Рис. IV.3.13. Разнос центров на головке для обеспечения заданной толщины стенки. Рис. IV.3.14. Пример неправильного назначения допусков на толщину стенки (смещение 0,5 мм).

На основании приведенных выше формул получим

$$T + \begin{matrix} (0,35 + 0,5) \\ -(0,18 + 0,5 + 0,14) \end{matrix} = T + \begin{matrix} 0,85 \\ -0,82 \end{matrix},$$

то есть в данном случае допускаемое уменьшение толщины стенок головки, являющейся базой для сверления отверстия, меньше того, которое фактически будет получено.

Для обеспечения заданной наименьшей толщины стенки следует увеличить номинальный диаметр головки на

$$N = [(0,18 + 0,5 + 0,14) - 0,5] \cdot 2 = 0,64 \text{ мм.}$$

Вместо диаметра 50 мм следует задавать диаметр 50,7 мм, тогда толщина стенки будет равна $10,35^{+0,85}_{-0,82}$ и наименьшая толщина стенки 9,5 мм будет обеспечена.

Толщина стенки головки, отверстие в которой обрабатывается на базе изготовленного отверстия,

$$T_1^{+(0,35+0,5+0,65)}_{-(0,18+0,5+0,14+0,65)} = T_1^{+1,5}_{-1,47},$$

то есть в данном случае допускаемое уменьшение толщины стенки также меньше того, которое фактически будет получено. Поэтому номинальный диаметр головки должен быть увеличен на

$$N_1 = [(0,18+0,5+0,14+0,65)-0,5] \cdot 2 = 2 \text{ мм.}$$

Вместо диаметра 40 мм следует брать диаметр 42 мм, тогда толщина стенки будет равна $11^{+1,5}_{-1,47}$ и наименьшая толщина стенки 9,5 мм будет обеспечена.

Заданную наименьшую толщину стенки можно обеспечить и по другому варианту, увеличив диаметр 40 мм на

$$N_2 = [(0,18+0,5+0,14)-0,5] \cdot 2 = 0,7 \text{ мм,}$$

то есть задать диаметр 40,7 вместо 40 мм и дополнительно дать разнос центров на величину $2g = 1,3 \text{ мм.}$

На рис. IV.3.15 приведены варианты рассматриваемой детали (без разнота (а) и с разнотой (б) центров). Оба варианта гарантируют получение заданной минимальной толщины стенки и с этой точки зрения равноценны. Однако следует иметь в виду, что увеличение диаметра головки без разнота центров упрощает изготовление штампа, но несколько утяжеляет деталь, а увеличение диаметра головки с разнотой центров усложняет изготовление штампа, но облегчает деталь. Выбор того

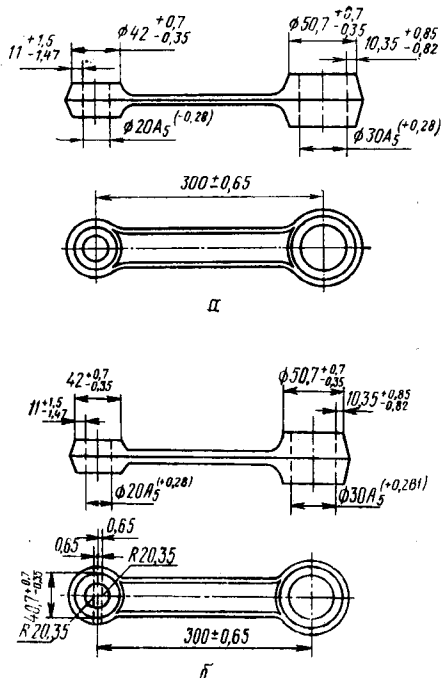


Рис. IV.3.15. Пример назначения размеров на толщину стенки без разнота (а) и с разнотой (б) центров.

или иного варианта для кузнечного производства не является принципиальным.

Если формообразование производится в одной половине штампа (рис. IV.3.16), тогда смещения в плоскости разреза нет. Поэтому можно ужесточить

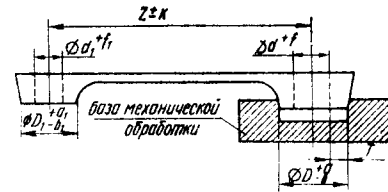


Рис. IV.3.16. Пример определения допусков на толщину стенки.

читать допуски на толщину стенок. Размер отклонений в этом случае определяется следующим образом:

а) для толщины стенки головки, отверстие в которой обрабатывается на базе контура самой головки,

$$T^{+\left(\frac{a}{2}\right)}_{-\left(\frac{b}{2} + \frac{f}{2}\right)};$$

б) для толщины стенки головки, отверстие в которой обрабатывается на базе ранее изготовленного отверстия,

$$T_1^{+\left(\frac{a_1}{2} + k\right)}_{-\left(\frac{b_1}{2} + \frac{f_1}{2} + k\right)}.$$

Если допускаемое уменьшение толщины стенки меньше установленного по вышеприведенным формулам, то необходимо:

а) на головках, которые являются базой механической обработки, увеличить номинальный диаметр головки на

$$N = \left[\left(\frac{b}{2} + \frac{f}{2} \right) - e \right] \cdot 2;$$

б) на остальных головках, отверстия в которых обрабатываются на базе ранее изготовленного отверстия, можно увеличить номинальный диаметр или на

$$N_1 = \left[\left(\frac{b_1}{2} + \frac{f_1}{2} + k \right) - e_1 \right] \cdot 2,$$

или на

$$N_2 = \left[\left(\frac{b_1}{2} + \frac{f_1}{2} \right) - e_1 \right] \cdot 2$$

и дать дополнительный разнос центров на величину $2g = 2k$.

Таким образом, разнос центров выполняется только на головках, отверстия в которых обрабатываются на базе ранее изготовленных отверстий. На деталях сложной конфигурации с двумя и более бобышками (рис. IV.3.17), где трудно определить направление разнота центров, целесообразно увеличивать диаметр головок на величину, обеспе-

чивающую получение минимально допустимой толщины стенки (см. приведенные выше формулы). На рис. IV.3.18 приведена одна и та же деталь с тремя головками и отверстиями в них, но в за-

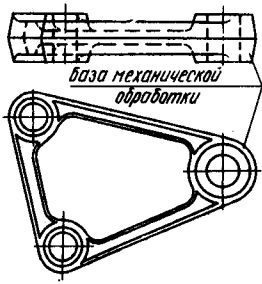


Рис. IV.3.17. Деталь с тремя бобышками и отверстиями в них.

висимости от выбранной базы механической обработки допуски на толщину стенок этой детали необходимо назначать разные.

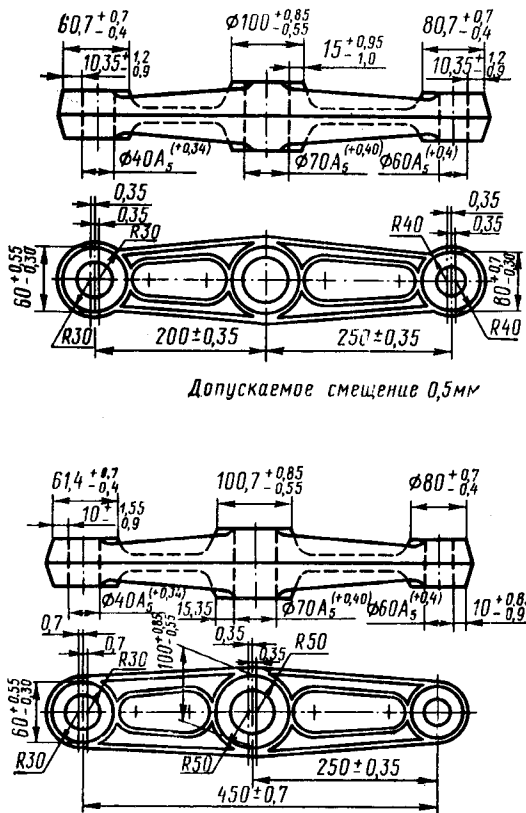


Рис. IV.3.18. Пример назначения допусков на толщину стенок.

ДЕТАЛИ С УТОЛЩЕННЫМИ КОНЦАМИ И ФЛАНЦАМИ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ТРУБ

На рис. IV.3.19 приведены детали из тонкостенных трубных заготовок с внутренним (а), наружным (б), комбинированным (в) утолщением и фланцем (г). Заготовки для деталей а, б и в изготавливаются электровысадкой, а для детали г — электровысадкой (набор металла для образования фланца) с последующей штамповкой фланца на горизонтально-ковочной машине или специальной фланцештампочной машине типа ПШФ.

Оптимальное соотношение между толщиной стенки исходной заготовки и ее диаметром определяется зависимостью $t \geq 0,224d^{0,65}$.

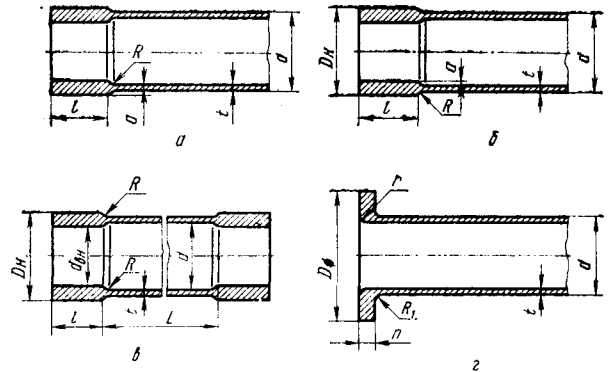


Рис. IV.3.19. Утолщенные концы трубных заготовок.

Наибольший наружный диаметр D_n утолщенной части зависит от соотношений толщины и диаметра исходной трубной заготовки и определяется по табл. IV.3.3.

Таблица IV.3.3
Зависимость диаметра утолщенной части от диаметра исходной трубной заготовки

Наружный диаметр исходной трубной заготовки	Наибольший наружный диаметр утолщенной части трубной заготовки D_n
До 40	$d + \frac{150t}{d}$
40—63	$d + \frac{200t}{d}$
63—100	$d + \frac{240t}{d}$
100—160	$d + \frac{320t}{d}$
160—200	$d + \frac{400t}{d}$

Таблица IV.3.4
Конструктивные элементы фланцев

Диаметр фланца D_f	Толщина фланца h	R_1	r
До 63	5	2	1
63—100	8	3	2
100—160	12	4	3
160—200	15	5	4
200—250	20	6	5

Таблица IV.3.5
Допуски на наружный диаметр утолщенной части трубной заготовки

Длина утолщенной части l	Наружный диаметр утолщенной части D_n									
	до 40 40—63 63—100 100—160 св. 160									
	Допуски									
	верх- ние	ниж- ние	верх- ние	ниж- ние	верх- ние	ниж- ние	верх- ние	ниж- ние	верх- ние	ниж- ние
До 25	+0,4	-0,2	+0,6	-0,3	+0,8	-0,4	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6
25—40	+0,6	-0,3	+0,8	-0,4	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6	+1,4	-0,7
40—63	+0,8	-0,4	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6	+1,4	-0,7	+1,6	-0,8
Св. 63	+1,0	-0,5	+1,2	-0,6	+1,4	-0,7	+1,6	-0,8	+1,8	-0,9

Таблица IV.3.6

Допуски на внутренний диаметр утолщенной части
трубной заготовки

мм

Длина утолщенной части l	Внутренний диаметр утолщенной части $D_{вн}$									
	до 40		40—63		63—100		100—160		св. 160	
	Допуски									
	верх- ние	нижние	верх- ние	нижние	верх- ние	нижние	верх- ние	нижние	верх- ние	нижние
До 25	+1,0	-1,0	+1,5	-1,5	+2,0	-2,0	+2,5	-2,0	+3,0	-2,0
25—40	+1,5	-1,5	+2,0	-2,0	+2,5	-2,5	+3,0	-2,5	+3,5	-3,0
40—63	+2,0	-2,0	+2,5	-2,5	+3,0	-3,0	+3,5	-3,0	+4,0	-3,5
Св. 63	+2,5	-2,5	+3,0	-3,0	+3,5	-3,5	+4,0	-3,5	+5,0	-4,0

Таблица IV.3.7

Допуски на длину утолщенной части трубной заготовки

мм

Длина утолщенной части l	Наружный диаметр утолщенной части D_n									
	до 40		40—63		63—100		100—160		св. 160	
	Допуски									
	верх- ние	нижние	верх- ние	нижние	верх- ние	нижние	верх- ние	нижние	верх- ние	нижние
До 25	+2,5	-1,0	+3,0	-1,0	+3,5	-1,5	+4,0	-2,0	+4,5	-2,0
25—40	+3,0	-1,0	+3,5	-1,5	+4,0	-2,0	+4,5	-2,0	+5,0	-2,0
40—63	+3,5	-1,5	+4,0	-2,0	+4,5	-2,0	+5,0	-2,0	+5,5	-2,5
Св. 63	+4,0	-2,0	+4,5	-2,0	+5,0	-2,0	+5,5	-2,5	+6,0	-3,0

Таблица IV.3.8

Допуски на расстояние между утолщенными частями трубной заготовки

мм

Расстояние между утолщениями	Допуски	
	верхние	нижние
До 360	+1,0	-2,0
360—630	+1,5	-2,5
630—1000	+2,0	-3,0
Св. 1000	+2,0	-4,0

Таблица IV.3.9

Допуски на диаметр и толщину фланцев

мм

Диаметр фланца D_f	Допуски			
	на диаметр D_f		на толщину h	
	верхние	нижние	верхние	нижние
До 63	+0,8	-0,4	+1,8	-0,6
63—100	+1,0	-0,5	+2,0	-0,8
100—160	+1,2	-0,6	+2,5	-1,0
160—200	+1,5	-0,8	+3,0	-1,2
200—250	+2,0	-1,0	+3,5	-1,5

Наименьший внутренний диаметр $d_{вн}$ утолщенной части трубной заготовки практически не ограничивается. Наибольшая длина l утолщенной части равна наружному диаметру трубной заготовки, но не более 80—100 мм. Радиус перехода R между утолщенной частью и исходной заготовкой ориентировочно может быть принят равным t .

При необходимости получения только наружного утолщения внутренняя поверхность трубной заготовки в зоне утолщения должна подвергаться обработке. Во избежание подрезания волокна на этой поверхности оставляется припуск a , размер которого зависит от эллипсности исходной заготовки и колеблется в пределах 0,15—0,5 мм. Аналогичный припуск оставляется на наружной поверхности трубной заготовки при необходимости получения только внутреннего утолщения.

Конструктивные элементы фланцев на концах трубных заготовок и допуски на размеры утолщенных концов и фланцев приведены в табл. IV.3.4—IV.3.9.

ДЕТАЛИ С УТОЛЩЕННЫМИ КОНЦАМИ И ФАСОННЫМИ ЗАКОНЦОВКАМИ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ ДУРАЛЮМИНОВЫХ ТРУБ

На рис. IV.3.20 приведены детали из тонкостенных труб с посаженным (а), обжатым (б), обжатым и посаженным (в) концами, а также деталь (г) с фасонными законцовками, изготовленными обжимом с посадкой.

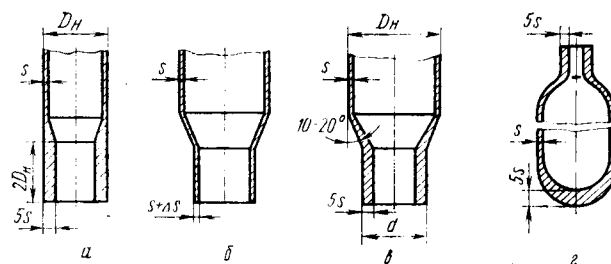


Рис. IV.3.20. Фасонные законцовки трубных заготовок.

Оптимальное соотношение между толщиной стенки s исходной заготовки и ее диаметром D_n при различных операциях формообразования определяется зависимостью

$$s \geq K \cdot D_n,$$

где K — коэффициент, зависящий от толщины стенки трубы: для $s=1$ мм $K=0,04$; для $s>1$ мм $K=0,03$.

Для операций формообразования толщина стенки трубы не должна быть меньше 1 мм. Утолщение стенок конца трубы при посадке и при обжиме с посадкой может достигать до пяти исходных толщин по длине не более двух диаметров.

Оптимальное соотношение диаметров обжатой части d и исходной заготовки D_n определяется зависимостью $d \geq 0,55 D_n$.

При свободном обжиме (без осевой посадки) толщина стенки обжатой цилиндрической части

увеличивается по сравнению с толщиной стенки исходной заготовки.

Увеличение толщины Δs стенки обжатой части зависит от степени обжима:

$$\text{при } d = (0,65 - 0,55) D_H \quad \Delta s = 0,15s;$$

$$\text{при } d = (0,8 - 0,65) D_H \quad \Delta s = 0,1s;$$

$$\text{при } d = (0,9 - 0,8) D_H \quad \Delta s = 0,06s.$$

Угол наклона образующей конической части переходной зоны обжатой заготовки должен находиться в пределах $10 - 20^\circ$. Припуски на механическую обработку и предельные отклонения размеров — по ОСТ 1.41471—73.

ДЕТАЛИ С ЭЛЕМЕНТАМИ НЕБОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ

Штамповкой на высокоскоростных молотах могут изготавливаться заготовки для деталей типа стаканов, крышек, колец, крыльчаток и др. (рис. IV.3.21). Характерные конструктивные эле-

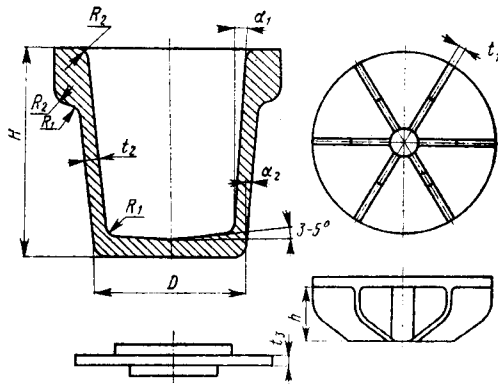


Рис. IV.3.21. Типовые штамповки, изготавливаемые на высокоскоростных молотах.

менты, которые могут быть выполнены штамповкой на высокоскоростных молотах, приведены в табл. IV.3.10. Остальные требования к деталям из изготовленных на высокоскоростных молотах штампов приведены в ОСТ 1.41538—74.

ДЕТАЛИ С ОТРОСТКАМИ И ПОЛОСТЯМИ

Методом безоблойной штамповки на многоплунжерных прессах могут изготавливаться заготовки для деталей, имеющих форму тел вращения и близкую к ним:

— без отрошков (цилиндры, фланцы и др., рис. IV.3.22);



Рис. IV.3.22. Типовые детали с полостями.

— с отросками (корпуса, крестовины, тройники, угольники и др., рис. IV.3.23).

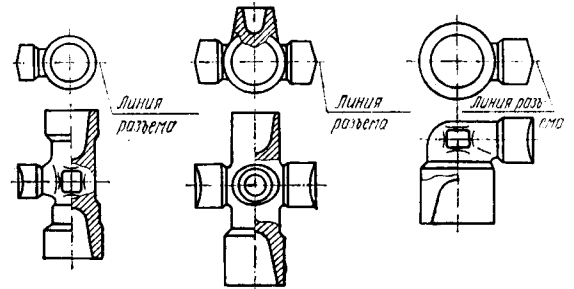


Рис. IV.3.23. Типовые детали с отросками.

Таблица IV.3.10

мм		Размер конструктивных элементов (не менее)
Толщина стенки t_2 при $H/D \leq 2$		2,0
Толщина ребра t_1 при $h/t_1 \leq 40$ для алюминиевых и титановых сплавов и $h/t_1 \leq 25$ для сталей		1,2—2,0
Толщина полотна t_3		3,0
Радиусы закругления	внутренние R_1	3,0
	наружные R_2	2,0
Штамповочные уклоны, град. (при наличии выталкивателя)	внутренние α_1	0,5—1,0
	наружные α_2	0—0,5

Отростки должны располагаться либо в одной плоскости, проходящей через вертикальную ось детали, либо в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, линия пересечения которых должна совпадать с вертикальной осью детали. Одна из этих плоскостей выбирается за плоскости разреза. Цилиндрические отростки, расположенные в плоскости разреза, выполняются без штамповочных уклонов. Эти отростки могут быть расположены как на одной, так и на разных осях.

Цилиндрические отростки, расположенные в плоскости, перпендикулярной разрезу, выполняются со штамповочными уклонами и должны быть расположены на одной оси. Выбор линии разреза должен производиться совместно с технологом по горячей штамповке. Остальные требования к деталям, заготовки которых будут изготавливаться безоблойной штамповкой на многоплунжерных прессах, изложены в ОСТ 1.41342—72.

Глава 4. ТОЧНОСТЬ ЗАГОТОВОК

Как показал анализ условий производства штампованных заготовок, допуски на штампованные заготовки должны рассматриваться во взаимосвязи с характером тех размеров, на которые они назначены. Следует различать две группы допусков на размеры:

- 1) между обрабатываемыми поверхностями;
- 2) между необрабатываемыми поверхностями.

В первом случае допуск зависит от припуска на механическую обработку и должен быть таким, чтобы, не вызывая значительного усложнения кузнечной обработки, можно было максимально снизить припуски.

Во втором случае допуски на детали, изготавливаемые из горячештампованных заготовок, должны быть такими, чтобы,

— с одной стороны, были обеспечены необходимая прочность и минимальный привес, удовлетворяющие требованиям конструкции;

— с другой стороны, стоимость деталей, получаемых из штампованных заготовок, была бы меньше стоимости деталей, получаемых механической обработкой.

Классы точности линейных отклонений, их назначение, а также предельные отклонения размеров штампованных заготовок приведены в ОСТ 1.41187—78.

НАЗНАЧЕНИЕ ДОПУСКОВ

Допуски на размеры между необрабатываемыми поверхностями или между поверхностями, одна из которых обрабатывается, следует указывать на чертежах деталей в числовых значениях (рис. IV.4.1).

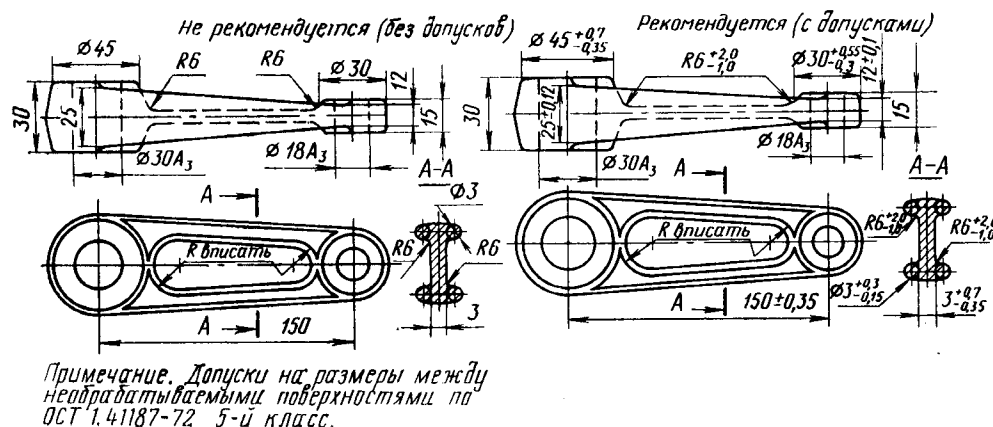


Рис. IV.4.1. Пример назначения допусков.

Не допускается указывать на чертежах деталей размеры без допусков или допуски на размеры в примечаниях.

Если одна из двух противоположных поверхностей деталей обрабатывается, то допуск на размеры определяется следующим образом:

1) обе поверхности расположены параллельно разъему (рис. IV.4.2). В этом случае допуск на размер между этими поверхностями определяется в зависимости от марки материала, требуемого

класса точности, площади проекции детали на плоскость разъема штампа по табл. 16 и 17 ОСТ 1.41187—78 (п. 3.10);

2) обе поверхности расположены перпендикулярно разъему. Допуск зависит от базы, принятой для механической обработки.

1-й вариант. База механической обработки — необрабатываемая поверхность, формообразование — в одной половине штампа (рис. IV.4.3).

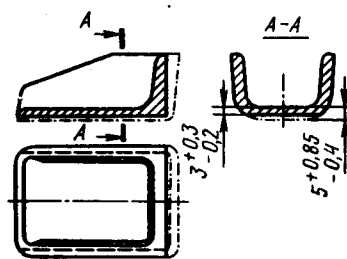


Рис. IV.4.2.

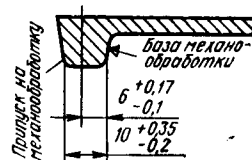


Рис. IV.4.3.

Допуск на размер чистовой детали после механической обработки одной стороны равен 50% от допуска на соответствующий размер штамповки.

2-й вариант. База механической обработки та же, что и в 1-м варианте, формообразование заготовки — в двух половинах штампа (рис. IV.4.4).

Допуск на размер чистовой детали (после механической обработки одной стороны) с учетом случаев, приведенных на рис. IV.4.4, а, б, в, равен 50% допуска на соответствующий размер штамповки с добавлением к положительному и отрицательному отклонениям с теми же знаками, что и сами отклонения, размера допускаемого смещения, определяемого по табл. 18 ОСТ 1.41187—78.

3-й вариант. База механической обработки — отверстие, увязана с необрабатываемой поверхностью ребра, формообразование — в одной половине штампа (рис. IV.4.5).

Допуск на размер чистовой детали (после механической обработки одной стороны) равен допуску на размер от отверстия до необрабатываемой поверхности, взятому с обратным знаком.

4-й вариант. База механической обработки — отверстие, увязана с осевой линией ребра, формообразование — в одной половине штампа (рис. IV.4.6).

Допуск на размер чистовой детали (после механической обработки одной стороны) равен допуску на размер от отверстия до оси ребра, назначенному по табл. 12 и 13 ОСТ 1.41187—78, плюс половина допуска на толщину ребра в штамповке.

5-й вариант. База механической обработки — отверстие, увязана с необрабатываемой поверхностью

ребра, формообразование — в двух половинах штампа (рис. IV.4.7).

Допуск на размер чистовой детали (после механической обработки одной стороны) равен допуску на размер от отверстия до необрабатываемой поверхности, взятому с обратным знаком, с добавлением к положительному и отрицательному отклонениям допускаемого смещения, взятого с тем же знаком, что и само отклонение.

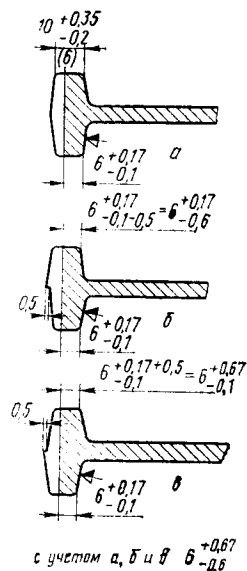


Рис. IV.4.4.

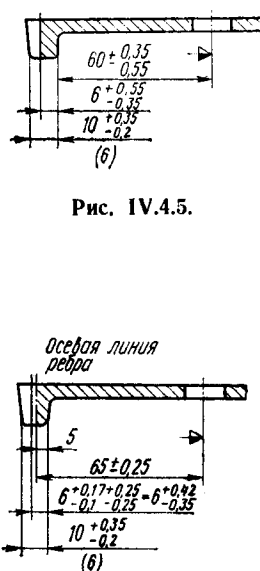


Рис. IV.4.5.

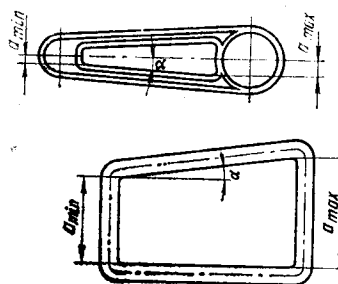


Рис. IV.4.9. Примеры переменного расстояния от базы механообработки до обрабатываемой поверхности.

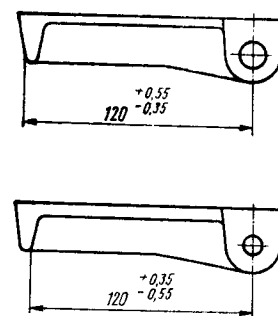


Рис. IV.4.10. Пример назначения допусков на размер между осевой линией и необрабатываемой поверхностью, когда штамповка производится в одной половине штампа.

6-й вариант. База механической обработки — отверстие, увязана с осевой линией ребра, формообразование — в двух половинах штампа (рис. IV.4.8).

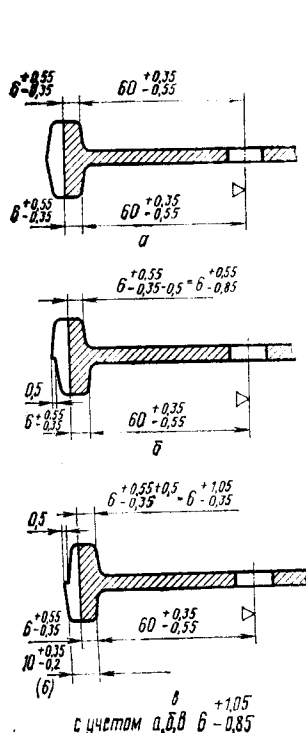


Рис. IV.4.7.

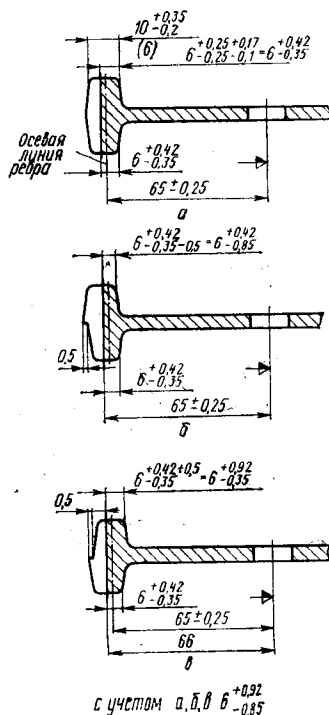


Рис. IV.4.8.

Допуск на размер между осевой линией и необрабатываемой поверхностью, расположенной перпендикулярно разъему (рис. IV.4.10), определяется при формообразовании заготовки в одной половине штампа как половина допуска на удвоенный размер (ОСТ 1.41187—78, п. 3.7).

При формообразовании заготовок в двух половинах штампа (рис. IV.4.11) допуск на размер между осевой линией и необрабатываемой поверх-

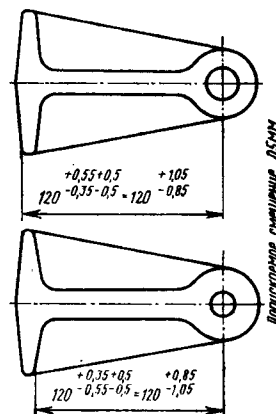


Рис. IV.4.11. Пример назначения допусков на размер между осевой линией и необрабатываемой поверхностью, когда штамповка производится в двух половинках штампа.

ностью равен половине допуска на удвоенный размер с добавлением к положительному и отрицательному отклонениям с теми же знаками, что и само отклонение, допускаемого смещения, опреде-

ляемого по табл. 18 ГОСТ 1.41187—78. В случаях, показанных на рис. IV.4.10 и IV.4.11, допуск ставится с обратным знаком.

Допуск на размеры закоординированных радиусов следует определять как на размеры, обуславливающие односторонний износ.

ДОПУСКИ НА ТОЛЩИНУ СТЕНКИ

Полые детали

Толщина стенки T для детали или элементов с необрабатываемой наружной поверхностью (рис. IV.4.12) может иметь положительное и отрицательное отклонение от номинальной величины и по абсолютной величине может изменяться

$$\text{от } T + \left(\frac{a}{2} + c\right) \text{ до } T - \left(\frac{b}{2} + c + \frac{f}{2}\right),$$

где a — положительное отклонение на наружный размер (диаметр) штамповки, мм; b — отрицательное отклонение на наружный размер (диаметр) штамповки, мм; f — положительное отклонение на размер отверстия, мм; c — допускаемое смещение, мм.

Величины a , b , c определяются по соответствующим таблицам ГОСТ 1.41187—72, f — из чертежа детали (задается конструктором).

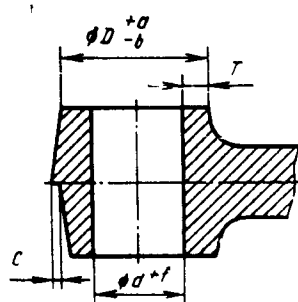


Рис. IV.4.12. Определение допусков на толщину стенки, когда штамповка производится в двух половинах штампа.

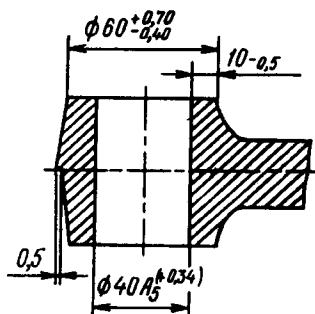


Рис. IV.4.13. Пример назначения допусков на толщину стенки, когда штамповка производится в двух половинах штампа.

Если при проектировании окажется, что допускаемое расчетное уменьшение толщины стенки меньше определенного по приведенной выше формуле, то наружный диаметр детали следует увеличить на величину N , определяемую по формуле

$$N = \left[\left(\frac{b}{2} + c + \frac{f}{2} \right) - e \right] \cdot 2,$$

где e — отрицательное отклонение на толщину стенки, заданное при проектировании.

Пример. Из рис. IV.4.13 имеем $a=0,7$, $b=0,4$, $c=0,5$, $f=0,34$, $e=0,5$.

Следовательно,

$$T^{(+0,35+0,5)}_{(-0,2-0,5-0,17)} = T^{+0,85}_{-0,87'}$$

то есть в данном случае допускаемое уменьшение толщины стенки e меньше определенного по формуле.

Для обеспечения заданной наименьшей толщины стенки необходимо увеличить наружный диаметр на $N = [(0,2+0,5+0,17)-0,5] \cdot 2 = 0,74$ мм, то есть наружный диаметр вместо 60 мм брать 60,8 мм, тогда толщина стенки $T = 10,4^{+0,85}_{-0,87'}$; в этом случае наименьшая толщина стенки 9,5 мм, определенная чертежом, будет обеспечена.

Если по каким-либо причинам увеличить наружный диаметр нельзя, то необходимо ввести обработку по наружному контуру.

Если формообразование заготовки детали осуществляется в одной половине штампа (рис. IV.4.14), то из-за отсутствия смещения допуски на толщину перемычки уменьшаются на смещение c , то есть

$$T^{+\left(\frac{a}{2}\right)}_{-\left(\frac{b}{2} + \frac{f}{2}\right)}.$$

В этом случае

$$N = \left[\left(\frac{b}{2} + \frac{f}{2} \right) - e \right].$$

Для детали, показанной на рис. IV.4.15, формулы в одной половине штампа, имеем $a=0,7$; $b=0,4$; $f=0,34$; $e=0,5$.

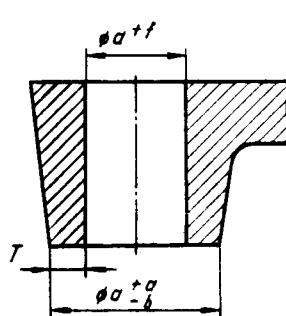


Рис. IV.4.14. Определение допусков на толщину стенки, когда штамповка производится в одной половине штампа.

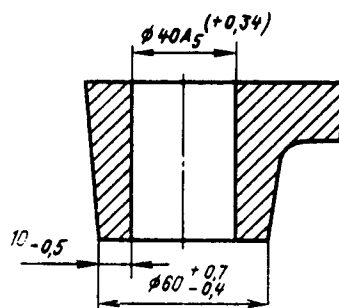


Рис. IV.4.15. Пример назначения допусков на толщину стенки, когда штамповка производится в одной половине штампа.

Допуски на толщину стенки следующие:

$$T^{+0,35}_{-(0,2+0,17)} = T^{+0,35}_{-0,37'}$$

то есть допускаемое уменьшение k толщины стенки обеспечено без увеличения наружного диаметра.

Если, предположим, $k=0,2$, т. е. меньше полученного расчетом отклонения $-0,35$, то наружный диаметр следует увеличить на $N = [(0,2+0,17)-0,2] = 0,17$ мм, тогда $T = 10,17^{+0,35}_{-0,37'}$, то есть заданное уменьшение толщины стенки будет обеспечено.

Детали типа кронштейнов

Колебания толщин перемычек T и T_1 при необработанном контуре основания кронштейна (рис. IV.4.16) возможны следующие: толщина перемычки T может быть меньше на смещение c и равна $T-c$; толщина перемычки T_1 может иметь колебания в пределах допуска на размер A ($A \pm a$) плюс смещение c , то есть $T_1^{+(a+c)}_{-b}$.

Если формообразование происходит в одной половине штампа (рис. IV.4.16, б), то допуск на тол-

щину перемычки T_1 будет находиться в пределах допуска на размер A , то есть $T_1 \pm \frac{a}{b}$.

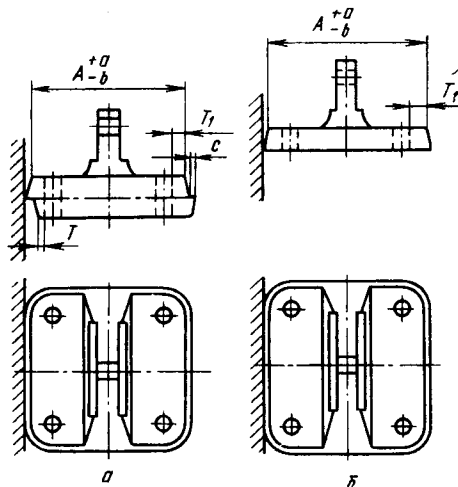


Рис. IV.4.16. Определение допусков на толщину перемычки, когда штамповка производится в двух половинах (а) и в одной половине (б) штампа.

На рис. IV.4.17 приведены примеры назначения допусков на толщину стенки.

В тех случаях, когда заданное чистовым чертежом уменьшение толщины перемычки не может быть обеспечено, необходимо увеличить наружный размер детали A на $N = (b - e) \cdot 2$.

Если в примерах, показанных на рис. IV.4.17, $e = 0,5$, то наружный размер 90 необходимо увеличить на $N = (0,8 - 0,5) \cdot 2 = 0,6$, то есть до 90,6.

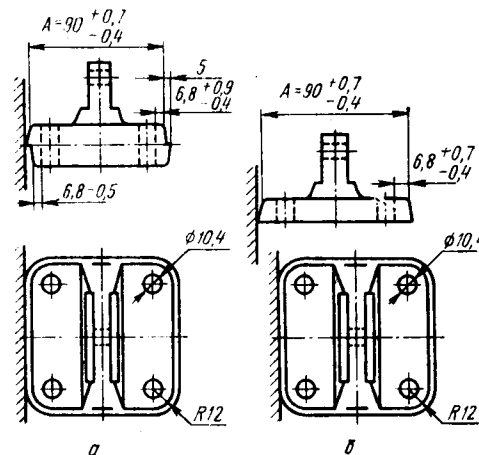


Рис. IV.4.17. Примеры назначения допусков на толщину перемычки, когда штамповка производится в двух половинах (а) и в одной половине (б) штампа.

Тогда толщина перемычки $T_1 = 7,1 \pm 1,7$ (рис. IV.4.17, а) и $T_1 = 7,1 \pm 1,2$ (рис. IV.4.17, б) и заданное уменьшение толщины перемычки будет обеспечено.

Глава 5. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Штампованные заготовки из легких сплавов имеют гладкую поверхность, которую можно приравнять по шероховатости к состоянию поверхностей, $Rz80$

обозначаемых ∇ , а в некоторых случаях, например после горячей калибровки, $Rz40$ ∇ .

Исключение составляют боковые поверхности в местах обрезки облоя, где могут появляться надрывы и царапины, которые зачищают с помощью пневмошлифовальной машинки или отпиливают. В результате такой обработки состояние боковых поверхностей соответствует обозначению ∇ .

Штампованные заготовки из стали и титановых сплавов имеют шероховатую поверхность, состояние которой обозначается знаком ∇ . Причиной шероховатости является образование окалины вследствие интенсивного окисления металла во время нагрева и остывания. Образующуюся при нагреве окалину обычно не удается полностью уда-

лить с поверхности заготовок и она частично заштамповывается в тело заготовки. При удалении окалины на штампованных заготовках образуются местные выемки глубиной до 0,3 мм на мелких штамповках, 0,5—0,6 мм — на средних и 1—1,5 мм — на крупных. Такие углубления обычно распределяются равномерно по всей поверхности штамповки и не занимают больше 10—15% общей площади, поэтому практически они не ухудшают механических свойств детали.

Внедряемые в настоящее время малоокислительные и безокислительные методы нагрева резко снижают окалинообразование при нагреве, чем улучшают состояние поверхности штамповок.

При проектировании деталей, изготавливаемых из штамповок, шероховатость проставляется только на сопрягаемых (обрабатываемых) поверхностях, на необрабатываемых поверхностях следует ставить знак ∇ .

Глава 6. ОТКЛОНЕНИЯ ПО МАССЕ ДЕТАЛЕЙ С НЕОБРАБАТЫВАЕМЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Методика определения массы детали по номинальным размерам без учета линейных отклонений, обусловливаемых различными методами изготовления (горячей штамповкой, литьем, механической обработкой и др.), является неправильной, в результате чего масса изготовленных деталей почти всегда бывает больше массы, указанной в чертеже. В таких случаях для обеспечения заданной массы требуется весьма кропотливая механическая обработка детали. Серийное изготовление таких деталей если и возможно, то связано с большими трудностями.

При определении привеса рекомендуется учитывать не все, а только часть положительного линейного отклонения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ

Положительное отклонение по массе (привес) на обработанные детали с необрабатываемыми поверхностями, изготовленные горячей штамповкой, составляет

$$q = q_v + q_r + q_p,$$

где q_v — положительное отклонение по массе, обусловленное наличием положительных линейных отклонений на вертикальные размеры (перпендикулярные плоскости разреза) между необрабатываемыми поверхностями детали;

q_r — положительное отклонение по массе, обусловленное наличием положительных линейных отклонений на горизонтальные размеры (параллельные плоскости разреза) между необрабатываемыми поверхностями, определяющими габаритные размеры детали;

q_p — положительное отклонение по массе, обусловленное наличием положительных линейных отклонений на радиусы сопряжений ребер или выступов с полотнами.

Привес q_v на вертикальные размеры между необрабатываемыми поверхностями детали подсчитывается следующим образом:

1) определяется площадь F проекции детали на плоскость разреза;

2) определяется площадь F' проекции отдельных необрабатываемых элементов детали (полотен от-

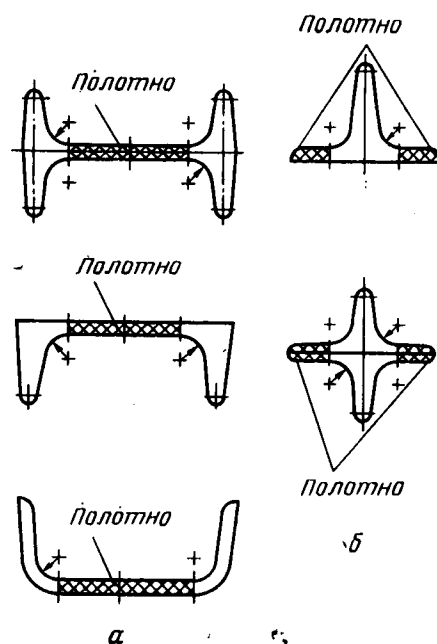

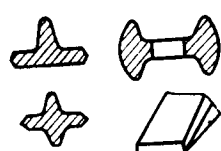


Рис. IV.6.1. Площадь полотна для сечений:

а — закрытых; б — открытых.

Таблица IV.6.1

Материал детали	Точность линейных отклонений, класс	Элементы сечений	Коэффициент привеса K_v для деталей с сечениями	
				
Легкие сплавы	4-й	Полотна	0,75	0,65
	5-й	Полотна	0,60	0,50
Сталь конструкционная и титановые сплавы	4-й	Полотна	0,90	0,80
	5-й	Полотна	0,75	0,65
Нержавеющие стали	4-й	Полотна	0,90	0,85
	5-й	Полотна	0,80	0,75
		Прочие элементы	0,50	0,40
		Прочие элементы	0,65	0,50
		Прочие элементы	0,70	0,60
		Прочие элементы	0,60	0,50

крытых и закрытых сечений и остальных необрабатываемых мест детали). Площадь полотна в закрытых сечениях (рис. IV.6.1, а) подсчитывается в промежутке между центрами радиусов сопряжения ребер с полотном, а в открытых сечениях (рис. IV.6.1, б) — в промежутке между центрами радиусов сопряжения ребер с полотном и краем детали;

3) для каждого элемента сечения по табл. IV.6.1 находится коэффициент привеса K_B ;

4) для каждого элемента детали определяется положительное линейное отклонение по ОСТ 1.41187—78;

5) привес для каждого элемента детали рассчитывается по формуле

$$q_B' = F' K_B \delta \gamma,$$

где γ — удельная масса материала детали;

6) суммированием привесов отдельных элементов детали определяется привес для всей детали по формуле

$$q_B = \Sigma F' K_B \delta \gamma.$$

Если одна из двух противоположных поверхностей детали обрабатывается, а другая нет, то привес на эту необрабатываемую поверхность принимается равным трети привеса, получаемого по последней формуле.

Привес q_r на горизонтальные размеры между необрабатываемыми поверхностями, определяющими габаритные размеры детали, подсчитывается следующим образом:

1) периметр детали делится на участки длиной l , имеющие одинаковую толщину b и одинаковое положительное линейное отклонение;

2) по табл. IV.6.2 берется коэффициент привеса K_r ;

Т а б л и ц а IV.6.2

Значения коэффициента привеса K_r

Материал детали	Точность линейных отклонений, класс	
	4-й	5-й
Легкие сплавы	0,70	0,60
Сталь конструкционная и титановые сплавы	0,65	0,55
Нержавеющие стали	0,60	0,50

3) для каждого участка периметра рассчитывается положительное линейное отклонение δ (по ОСТ 1.41187—78);

4) приведем $q_{г'}$ для каждого участка периметра вычисляется по формуле

$$q_{\Gamma'} = lb K_{\Gamma} \frac{\delta}{2} \gamma;$$

5) суммированием привесов отдельных участков периметра определяется привес на всю деталь

$$q_r = \sum lb K_r \frac{\delta}{2} \gamma.$$

Привес q_p на радиусы сопряжений подсчитывается следующим образом:

1) определяется длина участка L с данным радиусом R ;

2) по табл. IV.6.3 берется коэффициент привеса K_p ;

Таблица IV.6.3

Значения коэффициента привеса K_D

Номинальный размер радиуса сопряжения, мм	Материал детали					
	легкие сплавы		сталь кон- струкцион- ная и тита- новые сплавы		нержавею- щая сталь	
	Точность линейных отклонений, класс					
	4-й	5-й	4-й	5-й	4-й	5-й
До 6	0,80	0,70	0,70	0,65	0,65	0,60
6—8	0,75	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55
8—15	0,70	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
15—25	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
25—30	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45
30—35	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40
35—45	0,50	0,45	0,45	0,40	0,40	0,35
45—50	0,45	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30

3) для каждого участка рассчитывается положительное линейное отклонение A (по ОСТ 1.41187—78);

4) приведем для каждого участка находится по формуле

$$q_p' = 0,215 L \gamma [(R + K_p A)^2 - R^2],$$

5) суммированием привесов отдельных участков определяется привес на всю деталь

$$q_p' = 0,215 L \gamma [(R + K_p A)^2 - R^2],$$

Пример 1. Деталь — качалка (рис. IV.6.2), материал — сталь 30ХГСА, линейные отклонения на размеры — по ОСТ 1.41187—78, класс точности 5-й. Масса детали — 1,1 кг.

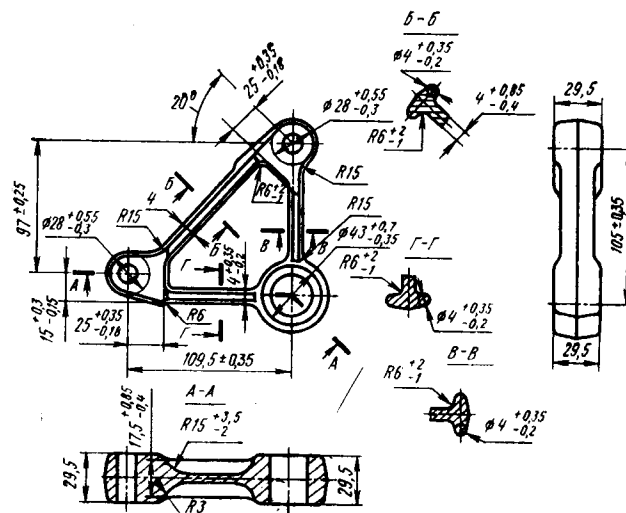


Рис. IV.6.2. Качалка.

Определение привеса q_v на вертикальные размеры

Площадь проекции детали на плоскость разреза — 120 см²; площадь проекции необрабатываемой части полотна — 35 см²; площадь проекции остальной необрабатываемой части детали — 49 см².

Положительное линейное отклонение по 5-му классу точности для стальной детали площадью проекции 120 см² составляет 0,9 мм (по ОСТ 1.41187—78, табл. 7).

Коэффициент привеса K_v для полотна закрытого сечения равен 0,75, а для остальных необрабатываемых мест детали — 0,5 (по табл. IV.6.1 для стальных деталей с отклонениями на размеры по 5-му классу точности).

В соответствии с найденными значениями привес на необрабатываемую часть полотна составит

$$q_v' = 35 \cdot 0,75 \cdot 0,9 \cdot 7,8 = 17,5 \text{ г.}$$

Привес на остальную необрабатываемую часть детали

$$q_v'' = 49 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \cdot 7,8 = 16,5 \text{ г.}$$

Общая масса от положительных линейных отклонений на вертикальные размеры

$$q_v = 17,5 + 16,5 = 34 \text{ г.}$$

Определение привеса q_r на горизонтальные размеры

Периметр участка, где толщина детали 20 мм, равен 195 мм, а участка с толщиной 30 мм — 280 мм. Коэффициент привеса $K_r = 0,55$ (см. табл. IV.6.2).

Положительное линейное отклонение по 5-му классу точности для стальной детали шириной 80 мм составляет 0,90 мм (по ОСТ 1.41187—78, табл. 11).

Примечание. Ввиду сложности контура качалки средняя ширина ее принята равной 80 мм.

Привес от положительных линейных отклонений на горизонтальные размеры

$$q_r = 19,5 \cdot 2 \cdot 0,55 \cdot 0,045 \cdot 7,8 + 28 \cdot 3 \cdot 0,55 \cdot 0,045 \cdot 7,8 = 22 \text{ г.}$$

Определение привеса q_p на радиусы сопряжений

Длина участка с радиусом 6 мм составляет 270 мм, коэффициент привеса $K_p = 0,6$ (см. табл. IV.6.3).

Положительное линейное отклонение по 5-му классу точности для стальных деталей с радиусом 6 мм равно 2,5 мм (по ОСТ 1.41187—78, табл. 15).

Привес от положительных линейных отклонений на радиусы сопряжений составит

$$q_p = 0,215 \cdot 27 \cdot 7,8 [(0,6 + 0,6 \cdot 0,25)^2 - 0,6^2] = 8 \text{ г.}$$

Определение общего привеса на деталь

$$q = 34 + 22 + 8 = 64 \text{ г.}$$

Следовательно, на чертеже детали ее масса должна быть указана так: $1,1^{+0,064}$ кг. В данном случае привес q составляет ~6% от массы детали.

Пример 2. Деталь — фитинг (рис. VI.6.3), материал — АК6; линейные отклонения на размеры — по ОСТ 1.41187—78, класс точности 5-й. Масса детали — 250 г.

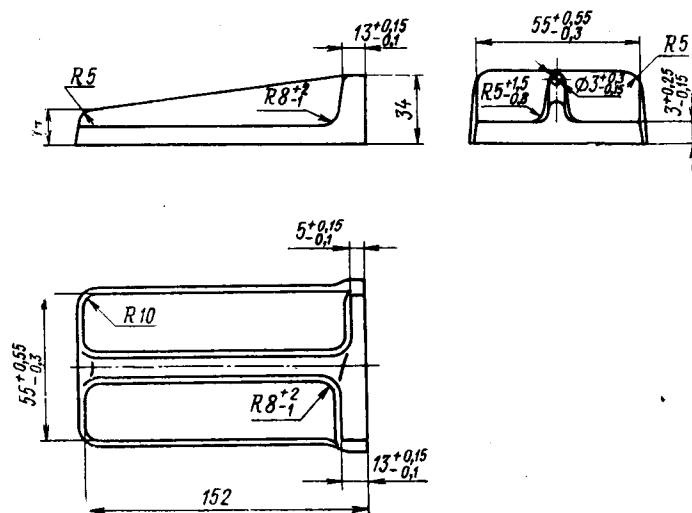


Рис. IV.6.3. Фитинг.

Определение привеса q_v на вертикальные размеры

Площадь проекции детали на плоскость разреза — 83 см²; площадь проекции необрабатываемой части полотна — 56 см²; площадь проекции остальной необрабатываемой части детали — 27 см².

Положительное линейное отклонение по 5-му классу точности для детали площадью проекции 83 см² из алюминиевого сплава составляет 0,7 мм (по ОСТ 1.41187—78, табл. 6).

Коэффициент привеса K_v для полотна открытого сечения равен 0,5, а для остальных необрабатываемых мест детали — 0,4 (по табл. IV.6.1 для деталей из алюминиевых сплавов с отклонениями на размеры по 5-му классу точности).

Привес от положительных линейных отклонений на вертикальные размеры составит

$$q_v = (56 \cdot 0,07 \cdot 0,5 \cdot 2,85 + 27 \cdot 0,07 \cdot 0,4 \cdot 2,85) \cdot \frac{1}{3} = 3 \text{ г.}$$

Определение привеса q_r на горизонтальные размеры

Периметр участка толщиной 5 мм и шириной 55 мм составляет 275 мм, толщиной 5 мм и шириной 150 мм — 55 мм, толщиной 36 мм и шириной 55 мм — 25 мм, толщиной 36 мм и шириной 150 мм — 55 мм, толщиной 36 мм и шириной 15 мм — 30 мм.

Коэффициент привеса $K_r = 0,6$ (см. табл. IV.6.2). Положительное линейное отклонение по 5-му классу точности для детали из алюминиевого сплава шириной 55 мм равно 0,60 мм, шириной 150 мм — 0,90 мм, шириной 15 мм — 0,3 мм (по ОСТ 1.41187—78, табл. 10).

Привес от положительных линейных отклонений на горизонтальные размеры будет

$$q_r = (27,5 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,0275 + 5,5 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,0425 + 3,6 \cdot 2,5 \cdot 0,6 \cdot 0,0275 + 3,6 \cdot 5,5 \cdot 0,6 \cdot 0,0425 + 3,6 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 0,015 \cdot 2,85) = 3 \text{ г.}$$

Определение привеса q_p на радиусы сопряжений

Длина участка с радиусом 5 мм составляет 270 мм, а с радиусом 8 мм — 45 мм. Коэффициент привеса $K_p = 0,7$ (см. табл. IV.6.3).

Положительное линейное отклонение по 5-му классу точности для деталей из алюминиевых сплавов с радиусом 5 мм равно 2,0 мм, с радиусом 8 мм — 2,0 мм (по ОСТ 1.41187—78, табл. 14).

Привес от положительных линейных отклонений на радиусы сопряжений составит

$$q_p = 0,215 \cdot 27 \cdot 2,85 [(0,5 + 0,7 \cdot 0,15)^2 - 0,5^2] + 0,215 \cdot 4,5 \cdot 2,85 [(0,8 + 0,7 \cdot 0,21)^2 - 0,8^2] = 2,5 \text{ г.}$$

Определение общего привеса на деталь

$$q = 3 + 3 + 2,5 = 8,5 \text{ г.}$$

Следовательно, на чертеже детали ее масса должна быть указана так: $0,25^{+0,0085}$ кг. В данном случае привес составляет $\sim 3,5\%$.

СНИЖЕНИЕ ПРИВЕСА

При проектировании детали с необрабатываемыми поверхностями необходимо учитывать привес на данную деталь. Если расчетный привес больше допустимого, то конструктивные элементы детали следует выбирать с учетом обеспечения необходимого привеса, который можно уменьшить:

а) сокращением площади проекции необрабатываемых поверхностей детали путем введения отверстий облегчения;

б) применением открытых сечений (тавровых и крестообразных) вместо закрытых (двутавровых и швеллерных);

в) сокращением протяженности ребер;

г) применением более жесткого класса точности линейных отклонений на утолщенных необрабатываемых местах детали (рис. IV.6.4).

Если уменьшение привеса от применения указанных выше мер недостаточно, то целесообразно ввести механическую обработку одной из двух противоположных поверхностей, лежащих в плоскости разреза (рис. IV.6.5). Механическая обработка одной из двух противоположных поверхностей

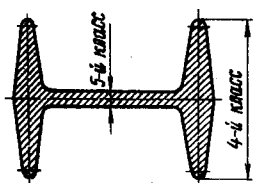


Рис. IV.6.4. Назначение допусков по разным классам точности.

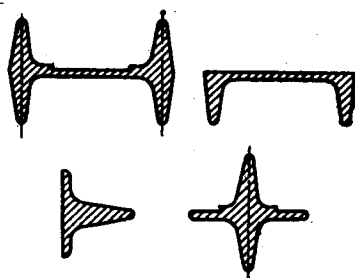


Рис. IV.6.5. Механическая обработка полотна для снижения привеса.

уменьшает привес на вертикальные размеры в три раза. Если же и это окажется недостаточным, то следует вести механическую обработку обеих поверхностей, лежащих в плоскости разреза.

Назначая механическую обработку на участки необрабатываемых поверхностей детали для уменьшения привеса, необходимо заранее предусмотреть места возможной дополнительной обработки и оговорить это в чертеже.

Дополнительную обработку для пригонки по массе следует производить простейшими механическими операциями.

В табл. IV.6.4 и IV.6.5 приведены сравнительные данные составляющих привеса. В табл. IV.6.4 при определении привеса учтена только часть положительного линейного отклонения, а в табл. IV.6.5 данные табл. IV.6.4 выражены в процентах от соответствующего привеса, подсчитанного по наибольшим положительным линейным отклонениям.

Таблица IV.6.4

Составляющие привеса	Соответствующий привес от общего привеса, %
Привес q_v на вертикальные размеры	60
Привес q_h на горизонтальные размеры	10
Привес q_p на радиусы сопряжений	30

Таблица IV.6.5

Значения составляющих привеса

Составляющие привеса	Процент от привеса, рассчитанного по наибольшим отклонениям для деталей из					
	легких сплавов	стали конструкционной и титановых сплавов	нержавеющей стали	Точность линейных отклонений, класс		
				4-й	5-й	5-й
Привес q_v на вертикальные размеры	65	55	75	65	85	75
Привес q_h на горизонтальные размеры	50	50	50	50	50	50
Привес q_p на радиусы сопряжений	50	45	60	50	70	60

В табл. IV.6.6. приведены линейные отклонения, привесы и стоимости деталей 5-го класса точности, выраженные в долях соответствующих значений

Таблица IV.6.6

Сравниваемые параметры	Точность линейных отклонений, класс	
	4-й	5-й
Линейные отклонения	1,0	1,5
Привес	1,0	1,2
Стоимость	1,0	0,8

для деталей 4-го класса точности. Откуда видно, что привес на деталь с линейными отклонениями 5-го класса точности на размеры между необрабатываемыми поверхностями на 20% больше привеса на эту же деталь с линейными отклонениями 4-го класса точности.

Хотя линейные отклонения 5-го класса точности в среднем на 50% больше соответствующих линейных отклонений 4-го класса точности, привес при

этом больше на 20%, а стоимость деталей на 20% меньше. Это весьма важное обстоятельство всегда следует иметь в виду при назначении точности линейных отклонений. По возможности следует принимать 5-й класс точности, так как изготовление деталей по 4-му классу точности связано с определенными производственно-технологическими трудностями, что значительно повышает стоимость детали.

Глава 7. ОФОРМЛЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ

При выполнении чертежей деталей, заготовки которых изготавливаются горячей штамповкой, необходимо учитывать специфику технологии кузнечной обработки.

1. Необрабатываемые поверхности, расположенные перпендикулярно плоскости разреза, следует вычерчивать со штамповочными уклонами. Определению штамповочных уклонов должен предшествовать выбор линии разреза. Штамповочные уклоны задаются таким образом, чтобы в плоскости разреза деталь (или элемент детали) имела наибольшую ширину или длину (рис. IV.7.1). Линию разреза на чертеже детали не указывают, так как ее расположение обычно определяется направлением штамповочных уклонов. Исключение составляют детали, которые можно изготавливать без штамповочных уклонов на необрабатываемых поверхностях. В этом случае линия разреза получается ломаной (рис. IV.7.2), ее обязательно следует указывать на чертеже.

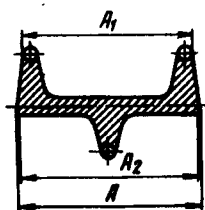


Рис. IV.7.1. Сечение детали с необрабатываемыми поверхностями.

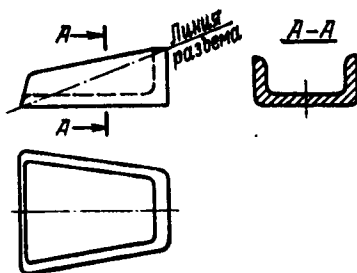


Рис. IV.7.2. Указание линии разреза на чертеже детали.

Штамповочные уклоны в плане изображаются двумя линиями (рис. IV.7.3): контуром детали или элемента детали по разряду и линией, проходящей по тому месту, откуда начинается штамповочный уклон.

2. Необходимо указывать все размеры детали полностью. Ссылки на плаз или шаблоны, снятые с плаза, не допускаются.

Шаблоны, снятые с плаза, не рекомендуется использовать при проектировании и изготовлении штамповой оснастки, так как размеры полости штампа отличаются от соответствующих размеров

детали на размер усадки. Кроме того, наличие штамповочных уклонов искажает профиль детали, в особенности в тех местах, где высота детали переменная (рис. IV.7.4).

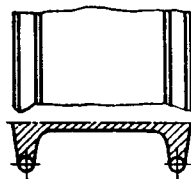


Рис. IV.7.3. Изображение штамповочных уклонов.

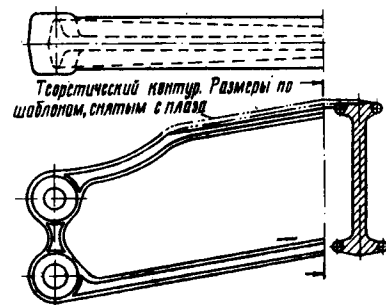


Рис. IV.7.4. Пример неправильного оформления чертежа детали (ссылка на плаз вместо указания размеров).

На теоретических обводах деталей, которые, как правило, подвергаются механической обработке, следует ставить размеры, а в соответствующем примечании на чертеже детали указывать, что данные размеры можно использовать только для разработки чертежа заготовки и проектирования оснастки.

3. Размеры детали желательно указывать от баз, принятых для механической обработки. Единообразие в указании размеров на детали и штампуемые заготовки сократит сроки подготовки производства и уменьшит вероятность появления ошибок, связанных с перерасчетами размеров.

4. Габаритные размеры детали или элемента детали при необрабатываемом контуре не следует указывать по линии разреза (рис. IV.7.5). При горячей штамповке по линии разреза детали образуется облой, который в дальнейшем обрезается

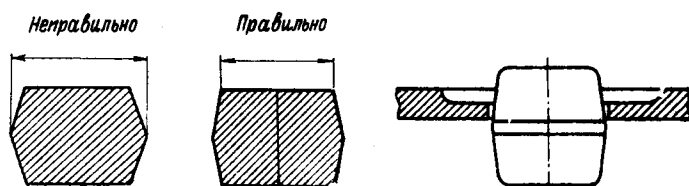


Рис. IV.7.5. Пример указания размеров.

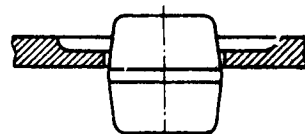


Рис. IV.7.6. Схема обрезки облоя.

(рис. IV.7.6). В зависимости от степени пригонки обрезающего инструмента в месте среза могут быть остатки от облоя или вырывы (рис. IV.7.7). В том или другом случае место среза облоя зачищается и судить о размерах детали по этому месту не представляется возможным.

5. Размеры толщины ребер устанавливаются следующим образом: если вершина ребра заканчивается радиусом (рис. IV.7.8, слева), то толщина ребра определяется диаметром его вершины. Если толщина ребра на его вершине больше удвоенного радиуса (рис. IV.7.8, справа), то толщина ребра определяется расстоянием между точками пересечения боковой грани и вершины ребра.

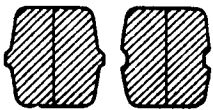


Рис. IV.7.7. Возможные дефекты при обрезке облоя.



Рис. IV.7.8. Пример указания толщины ребра.

6. При переменном расстоянии между ребрами (рис. IV.7.9) указание размеров производить от осевых линий в плановой проекции. Такая система указания размеров сокращает количество их на чертеже и облегчает разметку штампа.

Допуски K на размеры A и B назначаются по ОСТ 1.41187—72.

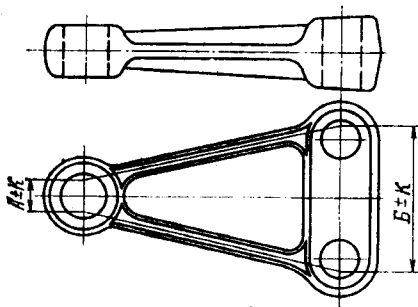


Рис. IV.7.9. Построение ребер, не параллельных друг другу.

7. При постоянном расстоянии между ребрами указывать размеры по одному из трех вариантов, приведенных на рис. IV.7.10.

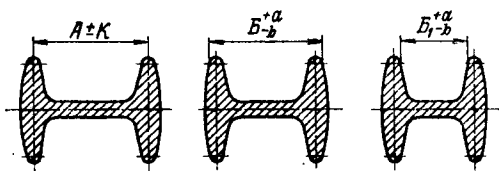


Рис. IV.7.10. Варианты указания размеров между параллельными ребрами.

8. При указании размеров не координировать положение радиусов. При сравнительно широких допусках на технологические радиусы их координирование может привести к искажению детали.

На рис. IV.7.11 и IV.7.12 приведены примеры правильного и неправильного указания размеров.

9. Избегать указания размеров цепочкой, это приводит к суммированию отклонений на каждый размер, что может дать значительную погрешность. На рис. IV.7.13 приведен пример правильного и неправильного указания размеров.

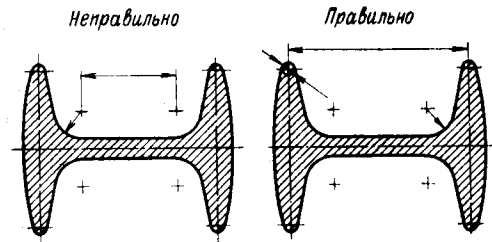


Рис. IV.7.11. Указание размеров на двутавровом сечении.

10. Допуски на размеры между необрабатываемыми поверхностями или между одной необрабатываемой и другой обрабатываемой проставлять непосредственно на размере.

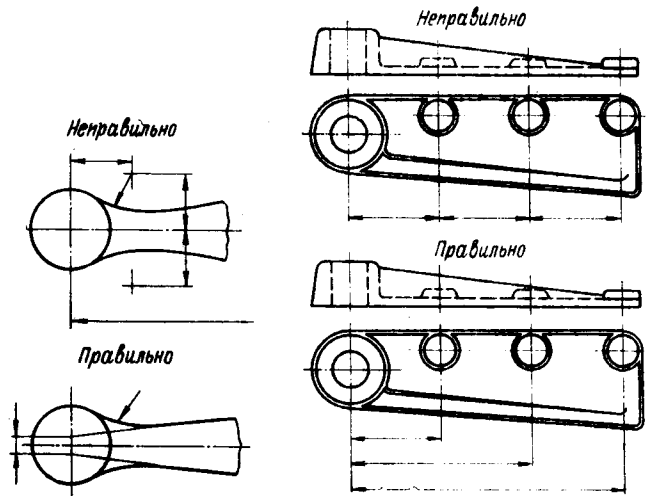


Рис. IV.7.12. Указание размеров, определяющих сопряжение головки со стержнем.

Рис. IV.7.13. Указание размеров, определяющих положение бобышек.

Значения допусков оговаривать в примечаниях не рекомендуется.

Соблюдение этого правила обязывает конструктора тщательно продумать вопросы, связанные с прочностью и привесами на каждую деталь.

11. Размер штамповочного уклона указывать на чертеже детали или в примечании. Если деталь выполняется с одним штамповочным уклоном, то его размер можно оговорить в примечании. Если же для данной детали в зависимости от различных соотношений конструктивных элементов требуются различные штамповочные уклоны, то преобладающий размер штамповочного уклона указывать в примечании, а остальные проставлять на чертеже.

12. На особо ответственных деталях указывать нужное направление волокна. Механические свойства горячештампованных заготовок анизотропны. Вследствие волокнистого строения деформированного металла его механические свойства вдоль и поперек волокон различны. При проектировании

деталей ответственного назначения необходимо учитывать, что основные усилия, действующие в детали, должны быть направлены вдоль волокон. Возможность достижения нужного направления волокон на деталях сложных конфигураций устанавливается при консультации со специалистом по горячей штамповке.

13. При определении массы детали необходимо учитывать положительные линейные отклонения на размеры между необрабатываемыми поверхностями. Масса детали определяется по нормальным размерам, а привес от положительных линейных отклонений — как положительное отклонение по массе.

Например, масса детали 3,5 кг, привес 0,2 кг. В спецификации на чертеже в колонке «Масса детали» указывается 3,5+0,2 кг.

В случае завышения массы на чертеже детали должны быть указаны зоны возможной обработки, которые выбирают из условий простоты механической обработки и минимальных затрат (прямолинейные участки легко обрабатываются скоростным фрезерованием, сверлением отверстий на полотнох и т. д.).

14. На толщину стенок и перемычек указывать допускаемые отрицательные отклонения, это дает возможность при разработке чертежа заготовки обеспечить заданную конструктором минимальную толщину стенки или перемычки.

15. При определении расстояний между центрами отверстий указывать допускаемые отклонения, без этих отклонений не представляется возможным производить расчеты, связанные с обеспечением минимальной толщины стенки или перемычки.

16. На чертежах деталей предусматривать при необходимости специальные технологические припуски, связанные с последующей обработкой. Форма технологического припуска устанавливается технологом-механиком. Технолог по горячей штамповке должен в данном случае санкционировать возможность изготовления детали с указанным технологическим припуском.

17. Сопрягаемые поверхности детали должны подвергаться механической обработке или чеканке. В том и другом случаях на этих поверхностях следует указывать соответствующие знаки обработки. На необрабатываемых поверхностях детали следует ставить знак ∇ .

18. Смещение при горячей штамповке в плоскости разреза одной половины детали относительно другой в чертеже детали не указывать. Это смещение обычно указывается в чертежах заготовок, так как в допусках на размеры штампованных заготовок смещение не учитывается.

19. Допускаемое коробление необходимо указывать на чертеже детали. Величина коробления должна учитываться технологом-механиком при назначении припусков на механическую обработку.

20. На чертежах деталей из штампованных заготовок должно быть указание, разрешающее изготавливать эти детали в опытном производстве из кованых заготовок (с соблюдением штамповочных уклонов и остальных конструктивных элементов, указанных на чертеже детали).

21. Чертеж детали из штампованной заготовки должен быть согласован с технологом по горячей штамповке и подписан им.

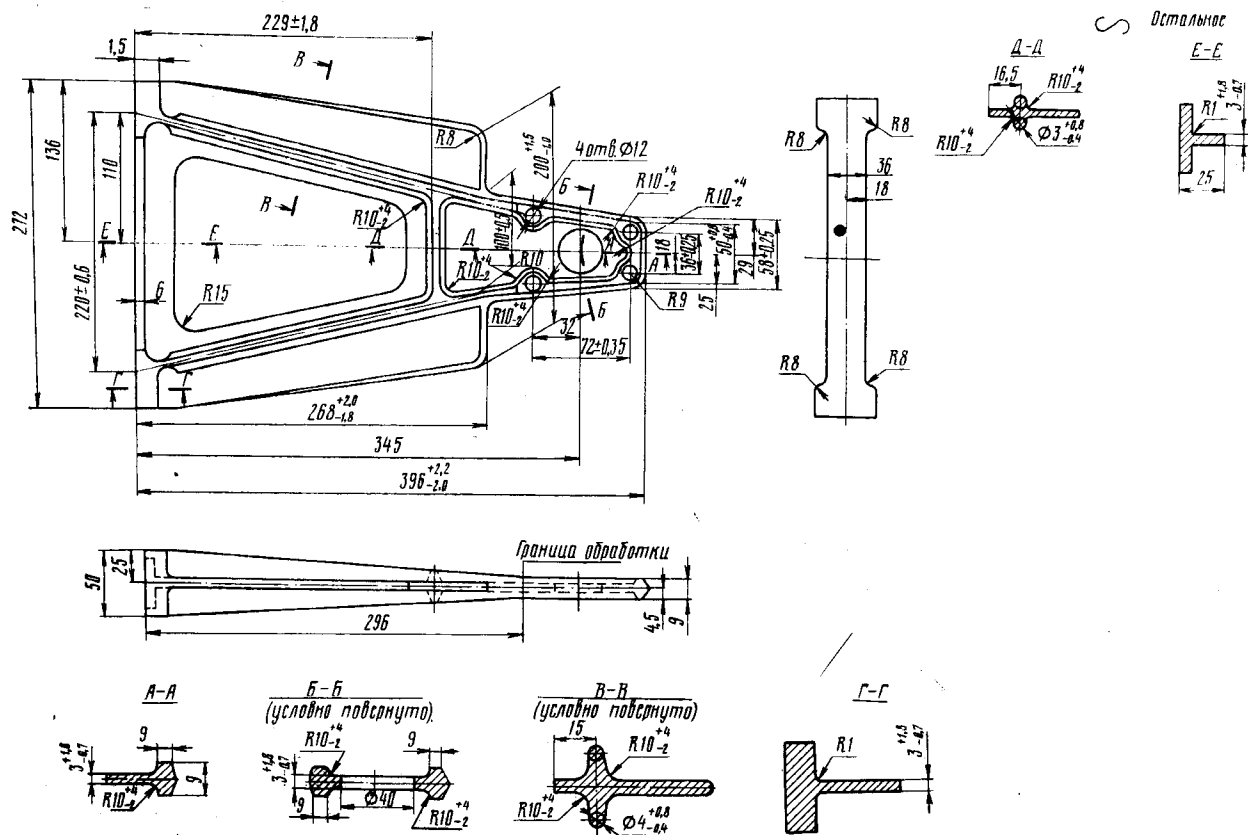


Рис. IV.7.14. Пример оформления чертежа детали, изготовленной из штампованной заготовки.

22. На чертеже детали необходимо указывать группу контроля. Различают три группы контроля:

К 1-й группе контроля относятся особо ответственные детали. Необходимо проверять механические свойства каждой детали, отнесенной к 1-й группе.

Ко 2-й группе контроля относятся детали ответственного назначения. В данном случае механические и прочие свойства проверяются только на одной детали из определенной партии. Программа испытаний и местонахождение образцов также устанавливаются специальными техническими условиями.

К 3-й группе контроля относятся все остальные

детали, которые обычно не подвергаются специальным испытаниям.

На рис. IV.7.14 приведен пример оформления чертежа детали. Технические требования к деталям:

1. В опытном производстве допускается изготовление детали из поковки.

2. Группа контроля III.

3. Пригонку по массе можно производить путем увеличения габаритных размеров отверстий облегчения.

Примечания к детали:

1. Штамповочный уклон — 5° .

2. Допуски на размеры между необрабатываемыми поверхностями по ОСТ 1.41187—78 5-й класс. Материал АК6, масса детали $6^{+0,18}_{-0}$ кг.

Глава 8. ДЕТАЛИ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ХОЛОДНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Процесс холодного выдавливания рационально применять для изготовления объемных деталей. Кроме того, этот процесс рекомендуется для выдавливания на готовых деталях всевозможной маркировки, бобышек или углублений.

ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Металлы и сплавы для изготовления деталей холодным выдавливанием должны обладать возможно низким пределом текучести, малой склонностью к упрочнению и достаточной пластичностью. Материалы, рекомендуемые для холодного выдавливания, а также сведения о допустимых степенях деформации, толщине перемычек для определенного материала приведены в ОСТ 1.41491—73.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Для обеспечения технологичности деталей, изготавливаемых холодным выдавливанием, рекомендуется (см. рисунок на стр. 198):

— не назначать штамповочные уклоны, так как даже детали большой длины свободно выталкиваются из штампов;

— не штамповать детали с местными утолщениями, с ребрами жесткости, перегородками. Утолщения, ребра необходимо приваривать;

— избегать резких переходов от одной поверхности к другой, острых кромок, углов, резких переходов от толстой стенки к тонкой, не допускать подрезов, канавок;

— не выдавливать ступенчатые детали с малыми перепадами внутренних и внешних диаметров (менее 15%);

— не допускать в деталях отверстий малого диаметра и большой глубины, так как это ослабляет отдельные элементы штампового инструмента;

— избегать изготовления холодным выдавливанием деталей с прямыми и острыми углами, деталей с большими углами конусности, со скошенными фланцами.

Вопрос о конструировании деталей изложен в ОСТ 1.41432—73.

ТОЧНОСТЬ

Точность деталей, получаемых холодным выдавливанием, определяется точностью и качеством из-

готовления инструмента, его износом, упругими и температурными деформациями инструмента и детали, состоянием, продольной и поперечной жесткостью и точностью настройки оборудования, а также отклонением от номинала размеров исходного материала заготовки.

Экономически целесообразной является точность по 2—4-му классу (диаметр, сторона прямоугольника). Точность размеров, зависящих от наладки пресса (толщина перемычки, донышка), находится в пределах 3—5-го класса.

Допускаемые отклонения размеров конструктивных элементов деталей, изготавливаемых холодным выдавливанием, приведены в ОСТ 1.41493—73.

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

Процесс холодного выдавливания обеспечивает высокое качество поверхности. Упрочнение поверхности детали при выдавливании, использование смазок оптимальной вязкости, применение полиро-

ванного инструмента (не менее $\sqrt{0,160}$) позволяют получить шероховатость поверхности в пределах $2,5^{0,080}$

$\sqrt{\quad}$ — $\sqrt{\quad}$. При этом шероховатость поверхности исходной заготовки должна быть не менее $Rz \sqrt{20}$.

Рекомендуемые составы смазок, а также возможные классы шероховатости поверхности отдельных конструктивных элементов деталей в зависимости от марки материала приведены в ОСТ 1.41494—73.

ЛИТЕРАТУРА

ОСТ 1.41188—72. «Заготовки штампованные. Допуски на размеры и припуски на обработку».

ОСТ 1.41188—78. «Заготовки штампованные. Конструктивные элементы».

ОСТ 1.41342—72. «Безоблойная штамповка заготовок из цветных сплавов».

ОСТ 1.41538—74. «Штамповка точных заготовок на высокоскоростных молотах».

ОСТ 1.41471—73. «Формообразование концов труб тяг управления из алюминиевого сплава Д16Т».

ОСТ 1.41492—73. «Детали холодного выдавливания. Технологичность деталей, технические требования».

Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. НИАТ, 1972.

	Правильно	Неправильно		Правильно	Неправильно		Правильно	Неправильно
1						10		
2			5			11		
3			6			12		
4			7			13		
			8			14		
			9					

Основные правила конструирования деталей.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ современных конструкций самолетов, выпускаемых авиационной промышленностью, показывает, что примерно 50—60% деталей, оформляющих наружный контур изделия (отсеки корпусов, воздухозаборники, элементы крыла и оперения), и деталей внутреннего набора (рамы, шпангоуты, балки, кронштейны, рычаги, качалки и др.) могут изготавливаться в виде монолитных конструкций различными методами литья (см. таблицу).

более технологичных литых конструкций, позволяющих применять рациональные технологические процессы и высокопроизводительное оборудование.

Детали, полученные из литых заготовок, обладают целым рядом преимуществ по сравнению с деталями, изготовленными другими способами:

- а) меньшая стоимость;
- б) возможность получения сложных криволинейных поверхностей, внутренних полостей, выступов,

Литые детали самолетов

Группы	I	II	III	IV	V	VI	VII
Наименование деталей	Корпуса	Детали кар- касного типа с поверхностью двойной кривизны	Панели	Ролики, секторы, барабаны	Балки, кронштей- ны, штур- валы	Фитинги, рычаги, качалки	Плоские детали, грузы
Габаритные размеры, мм	До 700×1000	До 500×2000	До 600×1500	—	До 300×800	—	До 300×900
Материалы	Алюминиевые, магние- вые и титановые сплавы	Магние- вые и алю- миниевые сплавы		Магние- вые сплавы	Магние- вые, алюминие- вые и титановые сплавы; сталь		Магние- вые сплавы, сталь и чугун

Увеличению применения количества литых деталей способствуют совершенствование существующих способов литья в песчаные и керамические формы, кокили, под давлением и создание новых сплавов, технологических процессов и специализированного оборудования для литья крупногабаритных деталей (литье направленно-последовательной кристаллизацией, выжиманием, под низким давлением и др.).

При этом трудоемкость изготовления деталей из литых заготовок в условиях серийного производства не будет превышать 35—60% общей трудоемкости их изготовления из деформируемых материалов в виде сборных конструкций, что дает значительный экономический эффект.

Расширение области применения литых деталей в значительной степени зависит от создания наибо-

расположенных в различных плоскостях, при минимальной механической обработке.

Это особенно важно при изготовлении деталей из труднообрабатываемых материалов (титана, жаропрочных сплавов, легированных деталей);

в) возможность обеспечения максимальной приближения литой заготовки к форме готовой детали в результате применения минимальных уклонов, радиусов и т. д.;

г) однородность механических свойств по всем направлениям в отличие от деформированных заготовок, обладающих анизотропностью свойств.

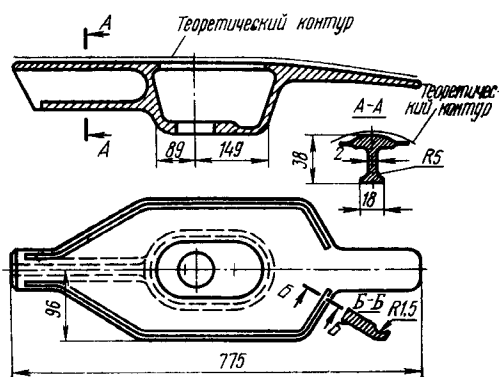
Технологические рекомендации разработаны на основе современного состояния технологии литья высококачественных деталей из черных и цветных сплавов.

Глава 1. ЛИТЫЕ ДЕТАЛИ

Говоря о литых деталях, следует прежде всего иметь в виду, что они наиболее сложные по конфигурации, получение их другими видами производства было бы крайне трудоемким. Кроме того, несмотря на сложную конфигурацию, высокие требования к качеству, литые детали производятся с высоким коэффициентом использования металла (КИМ) 0,5—0,7 и только для наиболее сложных фасонных деталей КИМ ниже 0,5.

Литые детали имеют высокую размерную точность и требуют минимальной механической обработки. Коэффициент использования литой заготовки КИЗ находится в пределах 0,7—0,9 при литье под давлением и выплавляемым моделям. Такие же высокие значения КИЗ обеспечиваются для тонкостенных крупногабаритных деталей, получаемых литьем выжиманием.

На литых деталях могут быть получены минимальные уклоны и радиусы сопряжений (см. рисунок). Обеспечивается получение однородных механических свойств во всех сечениях детали путем использования соответствующих сплавов и способов литья. Литые детали могут быть получены с различными типами литых структур: равноосной, столбчатой и монокристаллической.



Типовая литая фасонная деталь.

Высокая плотность и герметичность достигаются при использовании направленного затвердевания с применением специальных способов охлаждения литейной формы, точные литые детали производятся с высокой усталостной прочностью литьем по выплавляемым моделям из легких цветных сплавов и легированных сталей.

Применение эффективных методов контроля и управления литейными технологическими процессами, в том числе от ЭВМ, механизация и автоматизация производства и использование специальных способов литья и формирования деталей позволяют обеспечить высокую надежность литых деталей.

Большое влияние на качество литых деталей оказывает технологичность их конструкции, которая обеспечивает невысокую стоимость литья.

Оптовые цены литых деталей даны в прейскурантах № 25—01 1971 г. и № 75—87 1975 г. В стоимости 1 т массы, которая принята как масса обрубленной и очищенной детали, учтены все виды производственных затрат (табл. 1 по прейскуранту № 75—87).

Таблица V.1.1
Оптовые цены (в рублях за одну тонну)

Весовые категории		Группы сложности отливки				
№ групп	Развес, кг	I	II	III	IV	V
<i>На отливки из магниево-циркониевого сплава МЛ10, изготавливаемые методом литья в песчано-земляные формы</i>						
01	до 0,25	22 000	23 900	25 980	—	—
02	0,25—0,63	21 140	22 980	24 980	26 980	—
03	0,63—1,6	20 330	22 100	24 020	25 940	—
04	1,6—4,0	19 550	21 250	23 100	24 950	26 950
05	4,0—10,0	18 570	20 190	21 950	23 710	25 610
06	10,0—25,0	17 460	18 980	20 630	22 280	24 060
07	25,0—63,0	16 240	17 650	19 190	20 730	22 390
08	63,0—160,0	14 940	16 240	17 650	19 060	20 580
09	160,0—400,0	13 740	14 940	16 240	17 540	18 940
10	400,0 и выше	12 640	13 740	14 940	16 140	17 430
<i>На отливки из магниево-циркониевого сплава МЛ12, изготавливаемые методом литья в песчано-земляные формы</i>						
01	до 0,25	14 860	16 150	17 550	—	—
02	0,25—0,63	14 280	15 520	16 870	18 220	—
03	0,63—1,6	13 730	14 920	16 220	17 520	—
04	1,6—4,0	13 200	14 350	15 600	16 850	—
05	4,0—10,0	12 540	13 630	14 820	16 000	—
06	10,0—25,0	11 800	12 820	13 930	15 040	—
07	25,0—63,0	10 960	11 910	12 950	13 970	—
08	63,0—160,0	10 080	10 960	11 910	12 860	—
09	160,0—400,0	9 270	10 080	10 960	11 640	—
10	400,0 и выше	8 530	9 270	10 080	10 890	—
<i>На отливки из титанового сплава ВТ5Л, изготавливаемые методами литья по выплавляемым моделям и в оболочковые формы</i>						
01	До 0,25	89 690	96 830	106 290	—	—
02	0,25—0,63	70 090	75 080	83 770	—	—
03	0,63—1,6	51 180	54 750	60 230	66 650	—
04	1,6—4,0	37 360	39 900	44 130	48 330	53 620
05	4,0—10,0 и выше	27 170	29 030	31 830	35 230	38 610
<i>На отливки из стали 10Х18Н9ТЛ, изготавливаемые методом литья в керамические формы</i>						
05	4,0—10,0	5 280	5 820	6 640	7 860	—
06	10,0—25,0	4 820	5 280	5 960	6 980	8 510
07	25,0—63,0	4 230	4 560	5 060	5 810	6 940
08	63,0—160,0	3 800	4 060	4 420	5 000	5 850
09	160,0—400,0	3 480	3 660	3 930	4 340	4 960
10	400,0—1000,0	3 240	3 380	3 580	3 880	4 350
<i>На отливки из стали 35ХГСЛ, изготавливаемые методом литья в керамические формы</i>						
05	4,0—10,0	5 000	5 600	6 500	7 710	—
06	10,0—25,0	4 500	5 000	5 750	6 810	8 610
07	25,0—63,0	3 850	4 200	4 800	5 600	6 900
08	63,0—160,0	3 500	3 750	4 200	4 900	5 900
09	160,0—400,0	3 180	3 410	3 820	4 450	5 260
10	400,0—1000,0	2 890	3 100	3 470	4 050	4 880

ВЫБОР СПЛАВА

Выбор материала при конструировании литой детали определяется условиями работы детали (рабочая температура, среда, степень нагружения), технологией ее изготовления (способ литья, характер механической обработки и др.), а также стоимостью материала. Область применения и характеристика литейных сплавов и сталей приведены в табл. V.1.2—V.1.5. При выборе материала, кроме его прочностных характеристик, необходимо учитывать его технологические и литейные свойства (табл. V.1.6—V.1.9).

Характеристика и область применения литейных алюминиевых сплавов

Марка сплавов	ГОСТ, ОСТ и ТУ	Характеристика	Область применения
<i>Высокопрочные конструкционные</i>			
ВАЛ10	ТУ-1-92-21—73	Высокая прочность, повышенная усталостная прочность, хорошие пластичность и ударная вязкость. Хорошо обрабатывается резанием. Сваривается аргонодуговой сваркой. Литейные свойства и коррозионная стойкость пониженные	Для литья самолетных деталей, работающих в условиях повышенных и динамических нагрузок при 250°С
АЛ19	ГОСТ 2685—75	Повышенные прочность и ударная вязкость, а также повышенная жаропрочность. Хорошо обрабатывается резанием. Сваривается аргонодуговой сваркой. Литейные свойства, герметичность и коррозионная стойкость пониженные	Для литья нагруженных самолетных деталей, подвергающихся клепке, работающих длительное время при 300°С
<i>Конструкционные герметичные</i>			
ВАЛ18	ГОСТ 2685—75	Высокие литейные свойства и герметичность. Коррозионная стойкость удовлетворительная. Обрабатывается резанием удовлетворительно. Подварку дефектов производят аргонодуговой сваркой	Для силовых и герметичных деталей, отливаемых всеми видами литья, работающих длительное время при 250°С
АЛ34	ГОСТ 2685—75	Высокие литейные свойства и герметичность, хорошая коррозионная стойкость. Обрабатывается резанием удовлетворительно. Сваривается аргонодуговой сваркой	Для литья нагруженных деталей, в том числе работающих под большим внутренним давлением при температуре 200°С
АЛ4	ГОСТ 2685—75	Высокие литейные свойства, повышенная герметичность, удовлетворительная коррозионная стойкость. Обрабатывается резанием удовлетворительно. Сваривается аргонодуговой сваркой. Склонен к образованию газовой пористости в отливках. Заливку крупногабаритных деталей в песчаные формы следует производить в автоклавах. Применяется в модифицированном состоянии	Для литья сложных по конфигурации средненагруженных деталей, работающих при 200°С
АЛЧМ	ОСТ 1.90004—70	Высокие литейные свойства и герметичность. Обрабатывается резанием удовлетворительно. Подварку дефектов производят аргонодуговой сваркой. По прочности и жаропрочности превосходит АЛ4, но уступает ему по коррозионной стойкости	Для литья самолетных деталей сложной конфигурации средней нагруженности, к которым предъявляются повышенные требования к герметичности и коррозионной стойкости. Рабочая температура 250°С
АЛ2	ГОСТ 2685—75	Хорошие литейные свойства и герметичность, не склонен к образованию горячих трещин. Коррозионная стойкость удовлетворительная. Сплав хорошо сваривается газовой и аргонодуговой сваркой. Плохо обрабатывается резанием	—
АЛ9	ГОСТ 2685—75	Высокие литейные свойства и герметичность, хорошая коррозионная стойкость, средняя прочность. Хорошо обрабатывается резанием. Сваривается аргонодуговой сваркой. При литье в разовые формы применяется в модифицированном состоянии	Для литья деталей сложной конфигурации средней нагруженности, к которым предъявляются повышенные требования к герметичности и коррозионной стойкости. Рабочая температура до 200°С
АЛ9-1	ГОСТ 2685—75	По механическим свойствам и коррозионной стойкости превосходит сплав АЛ9, по другим характеристикам аналогичен ему	Аналогичен сплаву АЛ9
<i>Жаропрочные</i>			
АЛ5	ГОСТ 2685—75	Повышенная жаропрочность, хорошие литейные свойства, средняя прочность, удовлетворительная герметичность. Коррозионная стойкость пониженная. Хорошо обрабатывается резанием. Подварку дефектов производят аргонодуговой сваркой. Недостаток сплава — низкая пластичность	Для литья деталей сложной конфигурации средней нагруженности. Рабочая температура до 250°С
<i>Коррозионностойкие</i>			
АЛ22	ГОСТ 2685—75	Высокая коррозионная стойкость в морской воде, удовлетворительные литейные свойства и герметичность. Механические свойства пониженные. Хорошо обрабатывается резанием. Подварку дефектов производят аргонодуговой сваркой. Сплав применяется только в литом или закаленном (по режиму Т4) состоянии	Для литья под давлением малонагруженных деталей, к которым предъявляются повышенные требования по коррозионной стойкости

Таблица V.1.3

Характеристика и область применения литейных магниевых сплавов

Марка сплава	ГОСТ, ОСТ и ТУ	Характеристика	Область применения
<i>Конструкционные высокопрочные</i>			
МЛ5-14 и Т6	ГОСТ 2856—68	Хорошие механические свойства, имеет незначительную линейную усадку (1—1,2%), хорошую жидкотекучесть и малую склонность к образованию горячих трещин. Хорошо сваривается аргонодуговой и газовой сваркой. Удовлетворительная коррозионная стойкость. Обрабатываемость резанием отличная	Для литых нагруженных деталей самолетов: тормозных барабанов, качалок, кронштейнов, педалей, рам и др. Рабочая температура до 150 °С
МЛ8-Т6 и Т61	ГОСТ 2856—68	Высокая прочность и хорошая пластичность. Отличается высокой однородностью механических свойств в различных сечениях отливки. Мало чувствителен к влиянию микрорыхлоты на механические свойства. Свариваемость сплава несколько пониженная. Обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Литейные свойства хорошие. Обработка резанием отличная	Для литых высоконагруженных деталей корпусного и каркасного типа (кронштейны, качалки, формы, детали управления и др.). Рабочая температура до 150 °С
<i>Жаропрочные сплавы</i>			
МЛ10-Т6	ГОСТ 2856—68	Высокие прочностные свойства при комнатной и повышенной температурах, имеет хорошие литейные свойства, отличается высокой стабильностью размеров, высокой герметичностью. Коррозионная стойкость удовлетворительная. Хорошо сваривается аргонодуговой сваркой с присадкой основного материала. Обрабатываемость резанием отличная	
<i>С повышенной коррозионной стойкостью</i>			
МЛ5пч, Т4 и Т6	ГОСТ 2856—68	По литейным механическим и технологическим свойствам аналогичен сплаву МЛ5. Обладает повышенной коррозионной стойкостью (более чем в 10 раз превышающей стойкость сплава МЛ5) в обычных атмосферных условиях и в условиях тропического и морского климата с возможным попаданием брызг морской воды	Для литых высоконагруженных деталей, работающих в атмосфере с повышенной влажностью и в жестких условиях морского и тропического климата. Рабочая температура до 150 °С

Таблица V.1.4

Характеристика и область применения литейных сталей

Марка	ГОСТ, ОСТ и ТУ	Характеристика	Область применения
16ХГТЛ	ОСТ 1.90093—73	Удовлетворительные литейные свойства. После цементации обладает повышенной прочностью при удовлетворительной пластичности и вязкости. Хорошо сваривается и обрабатывается резанием	Для литых деталей, подвергаемых действию значительных удельных давлений
35ХГСЛ	ОСТ 1.90093—73	Хорошие литейные свойства, высокая прочность, удовлетворительные пластичность и вязкость. Хорошо сваривается. После сварки требует повторной термической обработки. Обрабатываемость резанием после нормализации или отжига хорошая	Для литых деталей различного назначения с пределом прочности 100 кгс/мм ² (кронштейны, вилки, шпангоуты и т. д.)
27ХГСНМЛ	ОСТ 1.90093—73	Хорошие литейные свойства, высокая прочность, удовлетворительные пластичность и вязкость. Хорошо сваривается. После сварки требует повторной термической обработки. Склонна к образованию горячих трещин. Обрабатываемость резанием после отжига или нормализации хорошая	
ВКЛ-3 (12Х2НВНЛ)	ОСТ 1.90090—73	Хорошие литейные свойства, высокие прочность, пластичность и вязкость, хорошо сваривается и не требует термической обработки после сварки, прочность сварного соединения составляет не менее 95 кгс/мм ² . Обрабатываемость резанием хорошая	Для литых деталей, работающих длительно при температурах до 500 °С (узлы форм, кронштейны, опоры и т. д.)
ВНЛ-2	ОСТ 1.90090—73	Хорошие литейные свойства, высокая прочность, удовлетворительные пластичность и вязкость. Хорошо сваривается и обрабатывается резанием	Для литых деталей, работающих в условиях силового нагружения, а также деталей, работающих в сварных конструкциях кратко временно при температурах до 500 °С

Продолжение табл. V.1.4

Марка	ГОСТ, ОСТ и ТУ	Характеристика	Область применения
ВНЛ-3	ОСТ 1.90090—73	Очень хорошие литейные свойства, высокая прочность, пластичность и вязкость. Хорошо сваривается со сталями типа ВНС-2. По коррозионной стойкости аналогична стали ВНС-2, обрабатываемость резанием удовлетворительная	Для литья крупногабаритных деталей, сварных силовых конструкций, не подвергающихся термической обработке после сварки и работающих при температуре до 400 °С (узлы, крепление, кронштейны, фитинги и т. д.)
ВНЛ-4	ОСТ 1.90090—73	Хорошие литейные свойства, высокая коррозионная стойкость в атмосферных и морских условиях и удовлетворительные в агрессивных средах (аналогично стали 10Х18Н9ТЛ). Хорошо сваривается, обрабатывается резанием удовлетворительно	Для литья деталей, работающих в атмосферных условиях и некоторых агрессивных средах, в которых работает сталь 10Х18Н9ТЛ
ВНЛ-5 10Х18Н9ТЛ	ОСТ 1.90090—73	По свойствам аналогична стали ВНЛ-3 Удовлетворительные литейные свойства, высокие пластичность и вязкость при невысокой прочности, высокая стойкость против газовой и межкристаллитной коррозии. Свариваемость хорошая, обрабатываемость резанием удовлетворительная	Аналогична стали ВНЛ-3 Для литья деталей, работающих при небольших напряжениях в агрессивных средах
Х18Н9ВЛ	ОСТ 1.90090—73	Кислотостойкая сталь, обладает удовлетворительными литейными свойствами. Свариваемость хорошая. Обрабатываемость резанием удовлетворительная. Механические свойства аналогичны стали 10Х18Н9ТЛ	Для литья деталей, работающих в условиях агрессивных сред. При температурах до 800 °С, в условиях невысокого нагружения

Таблица V.1.5

Характеристика и область применения литейных титановых сплавов

Марка сплава	ГОСТ или ТУ	Характеристика	Рабочая температура, °С		Область применения
			длительная	кратковременная	
Конструкционные					
BT5Л	ОСТ 1.90030—71	<p>Хорошие литейные и технологические свойства. Имеет высокие пластические и усталостные свойства. Отличается стабильностью механических свойств, не склонен к трещинообразованию, герметичность высокая, чувствительность к газонасыщению средняя.</p> <p>Свариваемость аргонодуговым способом хорошая.</p> <p>Коррозионная стойкость высокая в различных климатических условиях и в 3%-ном растворе NaCl. Обработка резанием удовлетворительная</p>	400		Для получения балок, фитингов, кронштейнов, шпангоутов и подобных деталей, работающих длительно при среднем уровне статических и усталостных нагрузок, при температурах до 400 °С и в условиях низких температур
BT20Л	ОСТ 1.90030—71	<p>Хорошие литейные и технологические свойства. Имеет высокие усталостные свойства, несколько уступает сплаву BT5Л, по уровню прочностных свойств превосходит последний. Не склонен к трещинообразованию.</p> <p>Герметичность высокая, чувствительность к газонасыщению средняя, коррозионная стойкость высокая в различных климатических условиях, свариваемость аргонодуговым способом хорошая, обработка резанием удовлетворительная</p>	600		Для получения разнообразной номенклатуры деталей силового набора и шасси, работающих длительно при высоких статических и динамических нагрузках до температур 500 °С и в условиях низких температур
BT6Л	ОСТ 1.90030—71	<p>Удовлетворительные литейные и технологические свойства. Высокие прочностные характеристики. По стабильности свойств и усталостным характеристикам уступает BT5Л и BT20Л. Герметичность высокая; чувствительность к газонасыщению высокая, свариваемость аргонодуговым способом хорошая, коррозионная стойкость высокая в различных климатических условиях</p>	4000		Для получения силовых деталей средней сложности, работающих в условиях высоких статических нагрузок при температурах до 400 °С

Таблица V.1.6

Литейные свойства алюминиевых сплавов

Марка	Температурный интервал кристаллизации, °C	Усадка, %		Жидкотекучесть при 700 °C, мм	Склонность к горячим трещинам (ширина кольца), мм	Плотность, кг/см³
		линейная	объемная			
ВАЛ10	650—550	1,16	—	320	12	2,78
АЛ19	650—548	1,25	3,5	205	23,5	
ВАЛ8	600—460	—	—	—	—	—
АЛ34	610—570	1,1	3,2	350	5	
(ВАЛ5)						
АЛ4	600—577	1,0	3,3	360	5	2,65
АЛ4М	600—577	1,0	3,3	360	5	2,65
АЛ9	620—577	1,0	3,8	350	5	2,66
АЛ91	620—577	1,0	3,8	350	5	2,66
АЛ5	627—557	1,1	4,8	344	10	2,68
АЛ33						
(ВАЛ1)	638—560	1,3	—	240	30	2,89
АЛ22	640—460	1,2	—	380	17,5	2,5

Таблица V.1.7

Литейные свойства магниевых сплавов

Марка	Температурный интервал кристаллизации, °C	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть при 700 °C, мм	Склонность к горячим трещинам (ширина кольца), мм	Плотность, кг/см³
МЛ5	600—430	1÷1,2	290—300	30	1,81
МЛ5 п.ч.	600—430	1÷1,2	290—300	30	1,81
МЛ8	636—525	1,2÷1,4	290	30—32,5	1,82
МЛ10	640—550	1,2÷1,5	250	15—20	1,78
МЛ12	644—550	1,2÷1,4	290	30—32,5	1,81
МЛ15	630—539	1,2÷1,5	320	27,5—30	1,83

Таблица V.1.8

Литейные, технологические и физические свойства литейных титановых сплавов

Марка сплава	Усадка, %		Жидкотекучесть, мм	Чувств. к газонасыщен.	Плотность, г/см³	Коэффициент линейного расширения, $1 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	Теплопроводность, кал/см·с·°C	Удельное электро-сопротивл., Ом/мм²·м	Теплоемкость, кал/г·°C
	линейная	объемная							
BT5Л	1,0—1,2	3,0—3,2	560	Средняя	4,4	8,3 (100 °C) 10,4 (400 °C)	0,021 (25 °C) 0,03 (400 °C)	1,08 (20 °C) 1,2 (500 °C)	0,13 (100 °C) 0,16 (400 °C)
BT20Л	1,05	2,3	430	»	4,45	8,8 10,2	0,021 0,029	1,63	0,13 0,16
BT6Л	1,1	2,9	510	Высокая	4,43	8,41 10,12	0,02 0,03	1,6 2,02 (400 °C)	0,13 0,17

Примечание. Сплавы, приведенные в данной таблице, имеют высокую герметичность, удовлетворительную обрабатываемость резанием, хорошую свариваемость аргонодуговым способом и высокую коррозионную стойкость в различных климатических условиях и в 3%-ном растворе NaCl.

Таблица V.1.9

Технологические свойства литейных сталей

Марка сплава	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть (спираль), мм	Трещиностойчивость	Рекомендуемая температура заливки форм, °C	Марка сплава	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть (спираль), мм	Трещиностойчивость	Рекомендуемая температура заливки форм, °C
16ХГТЛ	2,0	Удовлетворительная	Удовлетворительная	1550—1580	ВНЛ-3	2,0	Очень хорошая	Высокая	1520—1580
35ХГСЛ	2,0	Хорошая	То же	1550—1600	ВНЛ-4	2,0	То же	»	1520—1600
27ХГСНМА	2,0	»	»	1540—1600	10Х18Н9ТЛ	2,0	Удовлетворительная	»	1560—1600
ВКЛ-3	2,0	»	Высокая	1570—1600	Х18Н9БЛ	2,0	Хорошая	»	1560—1620
ВНЛ-2	2,0	»	»	1530—1580					

Глава 2. ВЫБОР СПОСОБА ЛИТЬЯ

Выбор способа литья определяется требованиями к механическим свойствам и точности, конфигурации и габаритным размерам деталей, маркой сплава и масштабами планируемого производства. В соответствии с этим способ литья должен выбираться

уже на стадии эскизного проектирования, чтобы в наибольшей мере учесть влияние способа литья, технологических свойств сплава на конструкцию литой детали (см. таблицу).

Сравнительная характеристика способов литья

Способ литья	Характеристика способа литья	Масштаб производства	Сплавы	Размеры детали, мм, до	Масса детали (не более), кг	Точность размеров	Шероховатость поверхности (по ГОСТ 2789—73), мкм	Применяемая оснастка и ее стойкость	Коэффициент использования заготовки (КИЗ)* по ГОСТ 1.41007—72	Примечание
<i>Фасонное литье из цветных сплавов и сталей</i>										
В песчаные формы	Позволяет в короткие сроки при недорогой модельной оснастке обрабатывать технологию и получать детали любой сложности и габаритных размеров	Индивидуальное, мелкосерийное, серийное и крупносерийное	Алюминиевые, магниевые сплавы	3500	300	Цветные сплавы ЛТ6, ЛТ7 (ОСТ 1.41154—72)	Rz 160—80	Деревянные и металлические модели (300—5000 съёмов соответственно)	0,69	Комплексно-механизированный способ литья. Качество литья зависит от качества формовочных смесей, качества доводки оснастки и отладки процесса формовки
В оболочковые формы	Обеспечиваются повышенные точность размеров и чистота поверхности. Имеет ограничение по форме отливов, чаще всего для плоских типа звездочек, рычагов. Стоимость оснастки высокая	Серийное	То же Средне- и низколегированные стали	500	20	Стальное литье класс 2—3-й (ГОСТ 2009—55)	Rz 80—40	Металлические модели (до 5000 съёмов)	0,76	
В формы из жидкоподвижных самотвердеющих смесей	Обеспечиваются повышенная точность размеров и сниженная трудоемкость изготовления форм по сравнению с литьем в песчаные формы	Индивидуальное, мелкосерийное, серийное и крупносерийное	Алюминиевые, магниевые сплавы	2000	от 10 и выше	Цветные сплавы ЛТ5, ЛТ6 (ОСТ 1.41154—72)	Rz 160—80	Деревянные модели (1300 съёмов) и металлические (15 000 съёмов)	0,7	В настоящее время применяется для изготовления стержней для алюминиевого и магниевого литья
В керамические формы	Обеспечиваются повышенная чистота поверхности и точность размеров по сравнению с литьем в песчаные формы. Недостаток — высокая стоимость и повышенный расход исходных материалов	Индивидуальное, мелкосерийное, серийное	Все специальные стали	1000—1300	90—100	Стальное литье класс 2—3-й (ГОСТ 2009—55)	Rz 40—20	Деревянные модели (300 съёмов) и металлические (15 000 съёмов)	0,8	Технологический цикл изготовления и сроки подготовки производства значительно короче, чем при литье по выплавляемым моделям

* Минимальные значения КИЗ для опытного производства.

Продолжение таблицы

Способ литья	Характеристика способа литья	Масштаб произ- водства	Сплавы	Размеры детали, мм, до	Масса детали (не более), кг	Точность разме- ров	Шероховатость поверхности (по ГОСТ 2789-73), мкм	Приме- няемая оснастка и ее стой- кость	Коэффициент ис- пользования за- готовки (КИЗ)* по ОСТ 1.41007-72	Приме- чание
По вы- плавляемым моделям	Применение безразъем- ных моделей и форм обеспечивает повышение размерной точности от- ливков. Недостатки спо- соба — большая продол- жительность процесса, высокая стоимость мо- дельной оснастки и фор- мовочных материалов. Применяется для точного литья сталей и сплавов, в том числе труднообра- батываемых резанием	Серийное	Все цвет- ные литей- ные сплавы, конструк- ционные, не- ржавеющие и жаропроч- ные стали	До 700	80	Стальное литье класс 2-3-й (ГОСТ 2009-55)	Rz 40—Ra 2,5	Пресс- формы алю- миниевые и стальные	0,8	—
В кокиль	Обеспечивается получе- ние отливок с плотной структурой металла и повышенными механиче- скими свойствами при статических испытаниях; повышение производи- тельности труда. Недо- статок — возможно сни- жение пластических свойств отливок	»	Алюми- ниевые спла- вы, магни- евые сплавы (МЛ5, МЛ12)	1500	20	Цветные сплавы ЛП4, ЛП5 (ОСТ 1.41154-72)	Rz 40—20	Чугунные кокили (50 000 съе- мов)	0,70	—
Под дав- лением	Возможность получе- ния тонкостенных дета- лей сложной configura- ции. Точность размеров и высокая чистота поверх- ности в ряде случаев ис- ключают механическую обработку сопрягаемых поверхностей. Вакууми- рованием пресс-форм и подпрессовкой возможно получение отливок из высокопрочных термиче- ски упрочняемых алю- миниевых сплавов. Не- достаток процесса, огра- ничивающий его приме- нение, — сравнительно вы- сокая стоимость форм	»	Алюми- ниевые спла- вы АЛ2, АЛ9, маг- ниевый сплав МЛ5	—	5—6	Цветные сплавы ЛП2, ЛП3 (ОСТ 41600-75)	Rz 20—Ra 2,5	Стальные пресс-фор- мы (35 000— 20 000 съе- мов для алю- миниевых сплавов)	0,86 0,8 (МЛ5)	
Под низ- ким давле- нием	Обеспечивается получе- ние отливок с повышен- ной плотностью и меха- ническими свойствами	Серийное и крупно- серийное	Алюми- ниевые спла- вы АЛ2, АЛ9, АЛ4, ВАЛ5 и др.	800	100	Цветные сплавы ЛП4, ЛП5, ЛП6 (ОСТ 1.41154-72)	Rz 40—20	Металли- ческие фор- мы (до 3000 съемов для алюминие- вых спла- вов)	0,7—0,8	
Литье вы- жиманием	Специальный способ тонкостенного литья. Воз- можность заполнения формы металлом практи- чески без перегрева	Опытное, мелкосерий- ное и серий- ное произ- водство	Алюми- ниевые спла- вы АЛ2, АЛ4	3000	200	Алюминиевые сплавы ЛП4, ЛП5 (ОСТ 1.41154-72)	Rz 40—20	Деревян- ные модели для песча- ных полу- форм (1000 съе- мов), метал- лические (15 000 съе- мов)	0,7	Планиру- ется про- мышлен- ное освое- ние литья из высоко- прочных сплавов, в том числе магние- вых

* Минимальные значения КИЗ для опытного производства.

Способ литья	Характеристика способа литья	Масштаб производства	Сплавы	Размеры детали, мм, до	Масса детали (не более), кг	Точность размеров	Шероховатость поверхности (по ГОСТ 2789-73), мкм	Применяемая оснастка и ее стойкость	Коэффициент использования заготовки (КИЗ)* по ГОСТ 1.410007-72	Примечание
<i>Фасонное литье титановых сплавов</i>										
В набивные формы	Универсальный технологический процесс, позволяющий в короткие сроки при недорогой модельной оснастке получать детали любой сложности. Способ позволяет получать отливки значительных габаритных размеров	Фасонное от опытного до крупносерийного	Все титановые сплавы	2000	500	ЛТ6, ЛТ7	Rz 80	Деревянные (300 съёмов), металлические (5000 съёмов)	0,25—0,35	—
В оболочковые, графитовые формы	Применение способа ограничено конфигурацией отливок и их габаритными размерами	Серийное, крупносерийное	То же	800	20	ЛТ4, ЛТ5, ЛТ6	Rz 40	Металлическая оснастка (до 5000 съёмов)	0,3—0,4	—
По выплавляемым моделям	Универсальный технологический процесс, позволяющий получать детали любой сложности	От опытного до крупносерийного	»	300	15	ЛТ4, ЛТ5, ЛТ6	Rz 40—20	Пресс-формы металлические (50 000 съёмов), гипсовые (5000 съёмов)	0,4—0,5 0,4—0,5	—
В прессованные графитовые формы	Применение ограничено конфигурацией отливок, трудностью пропрессовки глубоких болванов, сложностью и дороговизной модельной оснастки	Серийное и крупносерийное	»	1000	100	ЛТ3, ЛТ4, ЛТ5, ЛТ6	Rz 40	Металлическая оснастка (50 000 съёмов)	0,4—0,5	При увеличении мощности прессового оборудования возможно увеличение габаритных размеров отливок до 2000 мм
В кокиль	Высокая производительность метода. Применение ограничено высокой стоимостью кокиля и его низкой стойкостью		»	1500	100	ЛТ3, ЛТ4, ЛТ5, ЛТ6	Rz 40—20	Металлический кокиль (250—300 съёмов)	0,4	
* Минимальные значения КИЗ для опытного производства.										

При выборе способа литья следует учитывать характер требований к механическим характеристикам литых деталей, которые определяются условиями работы (статические, повторно-динамические, знакопеременные). Еще недавно основным критерием при выборе способа литья была прочность образцов при статических испытаниях. Так, прочность образцов, вырезанных из литых в кокиль деталей, выше статической прочности образцов, вырезанных из деталей, отлитых в песчаные формы, при этом пластичность металла часто падает, если не удастся существенно модифицировать литую структуру.

Для литых деталей, требующих длительного ресурса при знакопеременных нагрузках, следует

выбирать предел усталости применяемого сплава с учетом влияния способа литья и даже типов узлов сопряжений.

Усталостная прочность образцов из сплава АЛ9, вырезанных из деталей, отлитых в песчаные формы, выше прочности образцов, вырезанных из деталей, отлитых в кокиль (рис. V.2.1, а и б). Усталостная прочность образцов из сплава АЛ19 практически одинакова при литье в кокиль и в песчаные формы (рис. V.2.2, а и б). Однако усталостная прочность образцов из сплава АЛ19 существенно зависит от их формы (рис. V.2.3).

Точность литых деталей повышается с увеличением прочности форм (керамические, металлические) и с повышением точности изготовления и доводки литейной оснастки.

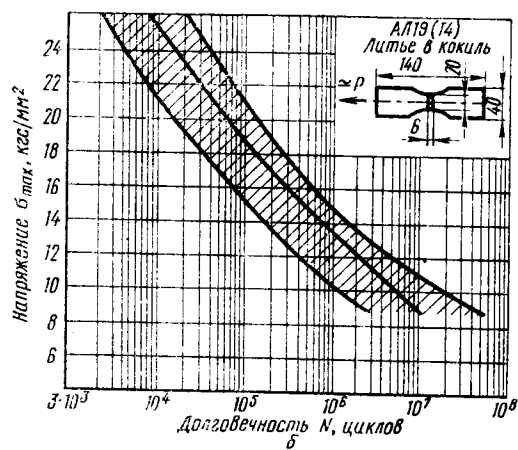
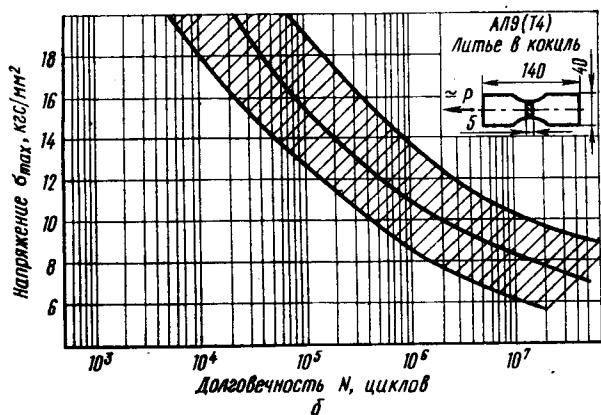
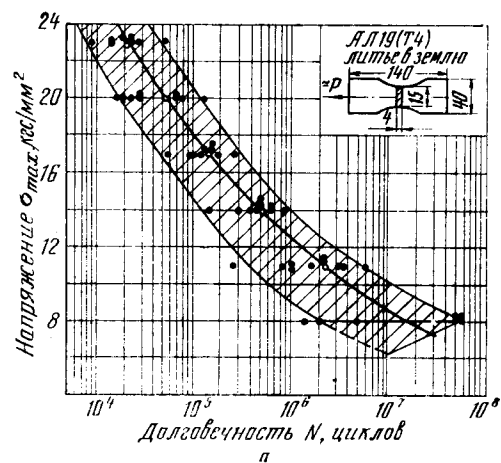
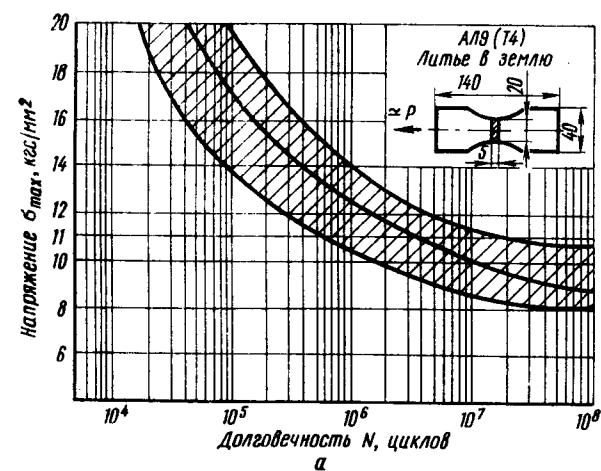


Рис. V.2.1. Усталостная прочность образцов, вырезанных из деталей из сплава АЛ9, отлитых в песчаные формы:

а — литье в землю; б — литье в кокиль.

Рис. V.2.2. Усталостная прочность образцов, вырезанных из деталей из сплава АЛ19, отлитых в песчаные формы:

а — литье в землю; б — литье в кокиль.

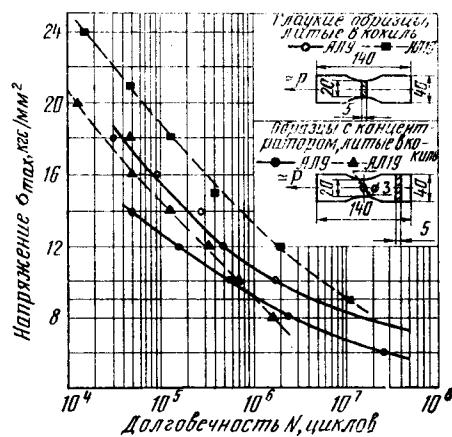


Рис. V.2.3. Влияние на выносливость формы образцов, вырезанных из деталей, отлитых в кокиль из сплавов АЛ9 и АЛ19.

Глава 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧНЫХ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

ВЫБОР ПРИНЦИПА ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТОЙ ДЕТАЛИ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ

Оценку технологичности конструкции литой детали следует начинать с определения возможного принципа ее формирования при затвердевании. В литейном производстве используются следующие принципы формирования отливок, обеспечивающие определенное качество литой детали:

- направленное затвердевание;
- одновременное, или объемное затвердевание;
- комбинированное затвердевание;
- направленная кристаллизация.

Направленное затвердевание применяется для литья силовых деталей ответственного назначения, имеющих массивные узлы и стенки небольшой протяженности. Для получения направленного затвердевания необходимо обеспечивать возможность установки питающих прибылей на бобышки, пластики и стенки (рис. V.3.1), холодильников направленного теплоотвода другими, специальными способами, а также оформлять конструктивные уклоны в направлении затвердевания.

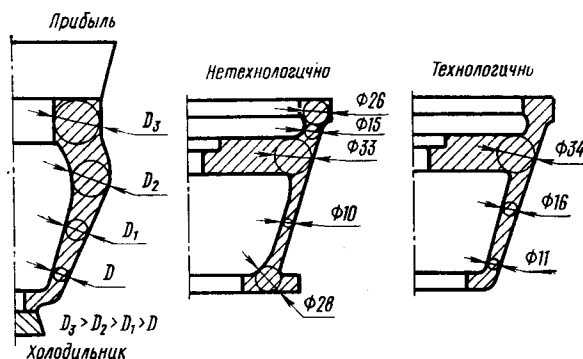


Рис. V.3.1. Применение принципа направленного затвердевания.

Направленное затвердевание гарантирует отсутствие усадочных дефектов, связанных с питанием объемной усадки металла, и высокое качество литой детали. Этот принцип может быть осуществлен практически при всех способах фасонного литья. Для обеспечения направленного теплоотвода специальными способами достаточно использовать питающие прибыли, при этом необходимость в холодильниках, уклонах отпадает.

Одновременное затвердевание применяется в том случае, если не удастся в полной мере осуществить направленное затвердевание. Этот принцип используют для получения тонкостенных крупногабаритных литых деталей.

Качество отливок определяется (рис. V.3.2)

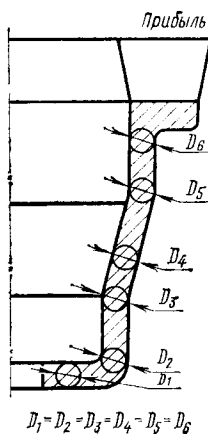


Рис. V.3.2. Конструкция стенки, выполненной при соблюдении принципа одновременного затвердевания.

- толщиной стенки;
- равномерностью толщины стенок отливки;
- технологией литья, обеспечивающей однородное температурное поле отливки.

Одновременное затвердевание реализуется при всех способах литья и обеспечивает получение литых деталей достаточно высокого качества и более высокий коэффициент использования металла (КИМ).

Принцип направленной кристаллизации осуществляется на более высоком уровне управления процессом (микропроцессом) и требует более сложного и дорогого оборудования. Процесс осваивается для литья лопаток турбин двигателя, для фасонных деталей пока не применяется. Направленная кристаллизация позволяет получить равноосную, столбчатую и монокристаллическую структуру и исключить обычные литейные дефекты.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РАЗЪЕМА МОДЕЛИ И ФОРМЫ

Поверхность разъема модели или формы определяется технологом совместно с конструктором, одновременно намечаются базовые поверхности для механической обработки, оси и базы для разметки. Определяется положение отливки при заливке формы металлом, необходимое для разработки литниково-питающей системы.

Поверхность разъема определяется из условий

- оформления минимального количества стержней;
- расположения базовой поверхности в одной части формы;
- обеспечения питания усадки наиболее нагруженных и массивных частей детали;
- возможности спокойного заполнения полости формы металлом без срывов потоков и гидравлических ударов, устранения причин турбулизации потока;
- возможности исключения отъемных частей из модельной оснастки, стержневых ящиков и прессформ;
- получения максимальной точности наиболее важных узлов и размеров детали;
- обеспечения удобного извлечения модели и отливки из формы;
- удобства доступа в полость формы для осмотра, очистки, окраски или смазки.

При выборе поверхности разъема формы (модели) необходимо обеспечить минимальную трудоемкость ее изготовления и удобство изготовления и сборки формы (выплавляемой модели).

Внешние очертания литой детали должны по возможности иметь прямолинейные контуры, сопряжения поверхностей должны быть плавными. Необходимо стремиться к максимальному уменьшению общих габаритных размеров детали и особенно высоты, к устранению чрезмерно выступающих частей, больших тонкостенных ребер, глубоких впадин и поднутрений.

Контроль формуемости литой детали принято осуществлять методом «параллельных лучей» в на-

Таблица V.3.1

Минимальные допустимые размеры карманов в литых деталях

мм		
Ширина кармана m	Толщина стенки s	Высота кармана h
4	—	5
6	8	10
8	10	16
10	12	24
12	15	35
15	18	50

Положение литой детали при заливке влияет на выбор плоскости разъема формы (модели) следующим образом:

— наиболее ответственные части отливок, к точности, плотности и чистоте которых предъявляются повышенные требования, должны быть расположены в нижней части формы, так как при заполнении формы шлаки скапливаются на верхних поверхностях. Если вышеуказанное требование невыполнимо, ответственные обрабатываемые поверхности следует располагать вертикально или наклонно (рис. V.3.7);

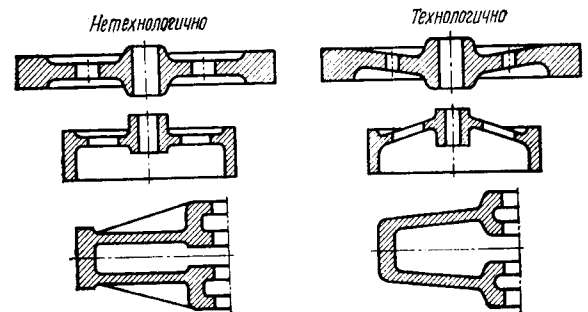


Рис. V.3.7. Выполнение горизонтальных стенок.

— для обрабатываемых поверхностей, расположенных в верхней части формы, предусмотреть большие по значению припуски;

— обеспечить питание с помощью прибылей тепловых узлов с соблюдением принципа направленного затвердевания.

ВЫБОР ТОЛЩИНЫ СТенок

Выбор оптимальной толщины стенок литой детали важен для обеспечения необходимой надежности, прочности, жесткости, герметичности и высокого коэффициента использования металла (КИМ). Кроме конструкторских факторов на выбор толщины стенок влияют габаритные размеры и конфигурация отливки, принцип формирования, технологические свойства сплава, способ литья и т. д.

Для литых деталей, получаемых при направленном затвердевании, существуют два условия выбора толщины стенок:

правлении, перпендикулярном плоскости разъема формы или стержневого ящика (рис. V.3.3). Появление теневых участков в отдельных местах контура свидетельствует о несовершенстве конструк-

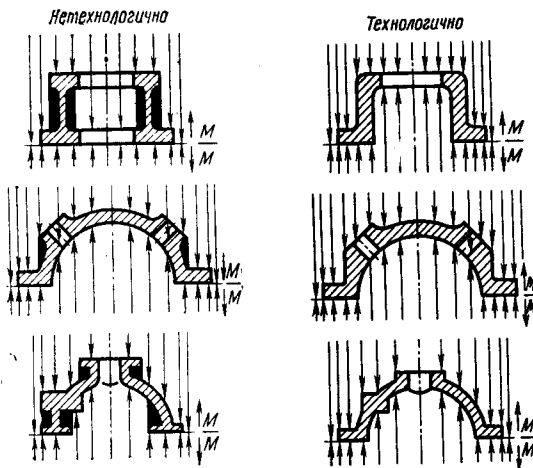


Рис. V.3.3. Контроль формуемости литых деталей.

ции. Они образуются при неправильном расположении выступающих платиков, бобышек, ребер, выемок, уклонов стенок и поднутрений. Формовка таких деталей требует применения отъемных частей и стержней. Она характеризуется

- увеличением трудоемкости изготовления литейной оснастки;
- усложнением изготовления и сборки форм;
- снижением точности размеров детали, что обусловлено смещением отъемных частей и стержней.

Формуемость литой детали определяет положение ребер, которое должно быть параллельным или перпендикулярным линии разъема (рис. V.3.4). Бобышки и приливы в деталях с внутренними полостями, выполненными с помощью стержней, следует располагать не на наружной, а на внутренней стороне стенок детали (рис. V.3.5). В литой детали не должно быть узких пазов и выемок, которые оформляются тонкими выступами и перемычками литейной формы (рис. V.3.6, табл. V.3.1).

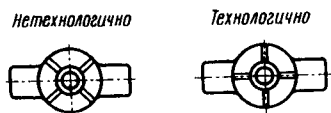


Рис. V.3.4. Ребра жесткости.

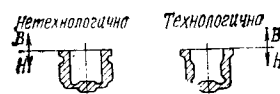


Рис. V.3.5. Оформление бобышек на боковой стенке детали.



Рис. V.3.6. Выполнение пазов при оформлении внутреннего фланца.

— ограничение максимальной толщины условиями получения оптимальной микроструктуры и высоких механических свойств;

— выполнение конструктивных уклонов, обеспечивающих питание усадки стенки или узла.

При литье в песчаные формы алюминиевых сплавов типа силумин (АЛ4, АЛ5) и магниевых типа МЛ5 толщина стенок не должна превышать 10—15 мм, увеличение ее с 15 до 60 мм приводит к снижению механических свойств на 30—80%. Для обеспечения высоких механических свойств для стенок толщиной свыше 15 мм следует использовать сплавы, нечувствительные к изменению толщины стенки и условиям охлаждения, например магниевый сплав МЛ12.

Размер конструктивных уклонов стенок для создания направленного затвердевания зависит от типа сплава. Сплавы эвтектического типа, например силумины, требуют небольших уклонов, так как при затвердевании имеют ширину двухфазной зоны меньшую, чем сплавы типа твердого раствора, например алюминиевый сплав АЛ19. Размер уклона колеблется в широких пределах — от 10 до 50% толщины стенки. Питание отливки может осуществляться сверху вниз (обычная схема, масса металла способствует процессу) либо снизу вверх, соответственно этому выполняются уклоны (рис. V.3.8).

Правильность конструкции проверяется методом «вписанных» окружностей: окружность, вписанная в любое сечение детали, должна свободно проходить по любым вышележащим сечениям в направлении кристаллизации.

Для получения тонкостенных фасонных отливок при одновременном затвердевании необходимо обеспечить постоянную толщину стенки и соблюдать ограничения максимальной и минимальной ее толщин. Оптимальной следует считать такую толщину стенки, которая бы удовлетворяла конструкторским требованиям к литым деталям и сочеталась с рекомендациями технологов.

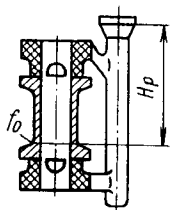


Рис. V.3.8. Схема питания литой детали нижней прибылью.

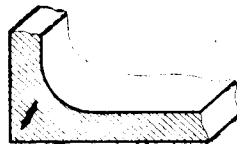


Рис. V.3.9. Усадочная раковина в L-образном сопряжении.

Постоянная толщина стенки литой детали способствует созданию однородного температурного поля в процессе затвердевания, что является условием равномерности распределения свойств по сечениям отливки. Допускаются небольшие утолщения в виде бобышек, платиков в тех случаях, когда их влияние может быть устранено простыми технологическими средствами. Например, при литье легких цветных сплавов в песчаные формы, когда утолщения можно упрочнить, используя наружные холодильники.

Равномерность свойств отливок, получаемых при одновременном затвердевании, исключает значительное снижение механических характеристик вследствие концентрации усадочных дефектов в одном сечении (рис. V.3.9).

Большая толщина стенок влечет за собой ухудшение микроструктуры при неполном питании объемной усадки при этом принципе литья. Оптимальная толщина стенок дает возможность получить макроструктуры с минимальным количеством усадочных дефектов (пор) и их благоприятным распределением по сечению. При пористости в пределах 1—2-го баллов по шкале ВИАМа прочностные свойства практически не снижаются, снижается только пластичность металла.

Рекомендуемая толщина стенок литых деталей 5—7 мм отвечает условиям получения наибольших значений статических характеристик и высоких

Таблица V.3.2

Минимальная рекомендуемая толщина стенок литых деталей

Материал	Способ литья	Толщина стенок в мм при максимальных размерах отливок, мм					
		до 100	101—250	251—400	401—1000	1001—1600	св. 1600
Алюминиевые сплавы	В песчаные формы	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	—
	В кокиль	3,0	3,5	4,0	5,0	—	—
	Под давлением	1,0	1,5	2,0	—	—	—
	В оболочковые формы	1,5	2,0	2,5	3,5	—	—
	По выплавляемым моделям	2,0	2,5	3,0	3,5	—	—
Магнелиевые сплавы	В песчаные формы	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	—
	В кокиль	3,5	4,0	5,0	6,0	—	—
	Под давлением	1,5	2,0	2,5	—	—	—
	В оболочковые формы	2,0	3,0	3,5	4,5	—	—
	По выплавляемым моделям	2,5	3,0	3,5	4,0	—	—
Титановые сплавы	В набивные формы *	2,0	2,5	3,0	3,5—4,0	4,5—5,0	5,5—6,0
	По выплавляемым моделям *	2,0	2,5	3,0	3,5—4,0	4,5—5,0	5,5—6,0
	В оболочковые формы *	2,0	2,5	3,0	3,5—4,0	4,5—5,0	5,5—6,0
	В прессованные формы *	2,5	3,0	3,5	4,0—4,5	5,0—5,5	6,0—6,5
	В кокиль	3,0	3,5	4,0	4,5—5,0	5,5—6,0	6,5—7,0
Сталь углеродистая	По выплавляемым моделям	1,5	2,0	2,5	3,0	—	—

* Литье в графитовые формы.

значений выносливости. Если требуются стенки большей толщины, целесообразно выполнить двухстеночную конструкцию.

Наиболее высокое качество литых деталей сложной конфигурации получается при использовании литейных сплавов с высокими технологическими свойствами, например силуминов.

Ограничение минимальной толщины стенок тонкостенных фасонных отливок связано с незаполнением формы металлом и образованием таких дефектов, как незалив, неспай и т. д. Толщину внутренних стенок, затвердевающих медленнее, следует устанавливать на 15—30% меньше толщины наружных. Минимальная толщина стенок при основных способах литья зависит от габаритных размеров и применяемых видов материалов литых деталей (табл. V.3.2).

ПЕРЕХОДЫ И СОПРЯЖЕНИЯ СТЕНОК

Плавность перехода от тонких сечений к толстым, правильные формы сопряжения и оптимальные значения радиусов сопряжений позволяют получить качественную литейную деталь, без литейных дефектов — усадочных раковин и пор, трещин и т. д.

Переходы и сопряжения стенок, получаемых при направленном затвердевании, не вызывают осложнений, если более утолщенными частями направлены к прибыли. Для стенок литых деталей, получаемых при одновременном затвердевании, сопряжения и переходы стенок должны обеспечивать в максимально возможной степени постоянство толщины.

Радиусы сопряжений стенок литых деталей, работающих на усталость при знакопеременных нагрузках, должны выполняться большими, чем радиусы сопряжений деталей, работающих при статических нагрузках. Излишне большие радиусы сопряжений могут вызвать в сопрягаемых узлах появление усадочных дефектов, что может быть причиной снижения герметичности и разрушения детали при эксплуатации (рис. V.3.10). Вероятность образования дефектов возрастает с увеличением массы металла в сопрягаемом узле. Контроль качества сопряжения и возможность появления дефектов достаточно точно можно определить с помощью правила вписанных окружностей (см. рис. V.3.1). Ниже приводятся основные типы сопряжения стенок с указанием рекомендуемых размеров.

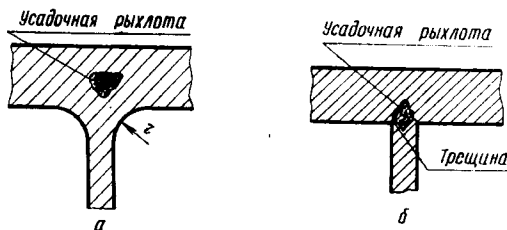


Рис. V.3.10. Усадочные дефекты в Т-образном сопряжении при большом (а) и малом (б) радиусе сопряжения.

В правильно сконструированной детали отношение толщин при переходе от одного сечения к другому не должно превышать отношения 4:1 при

лобовом сопряжении двух стенок, лежащих в одной плоскости. В деталях, имеющих отношение толщин стенок $\frac{s}{s_1} \leq 2$ (рис. V.3.11, а), сопряжения следует выполнять с помощью радиусов закруглений (галтелей), которые принимают:

— для магниевых и алюминиевых сплавов $R = 0,3 h$;

— для стали и титановых сплавов $R = 0,4 h$.

Такие же значения радиусов берут для деталей, не испытывающих ударных нагрузок, при отношении толщин стенок $\frac{s}{s_1} > 2$ (рис. V.3.11, б).

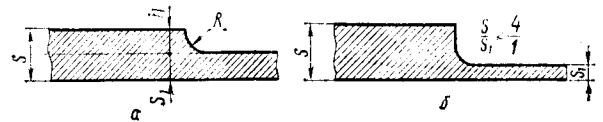


Рис. V.3.11. Переход от толстого сечения к тонкому при $\frac{s}{s_1} \leq 2$ (а) и $\frac{s}{s_1} > 2$ (б).

Если на деталь действуют ударные нагрузки, то при $\frac{s}{s_1} > 2$ переходы выполняют в виде клинового сопряжения (рис. V.3.12, а).

Длину участка перехода l для отливок из магниевых и алюминиевых сплавов при $\frac{s-s_1}{l} \leq \frac{1}{4}$ принимают $l \geq 4h$; для отливок из стали и титановых сплавов при $\frac{s-s_1}{l} \leq \frac{1}{5}$ $l \geq 5h$.

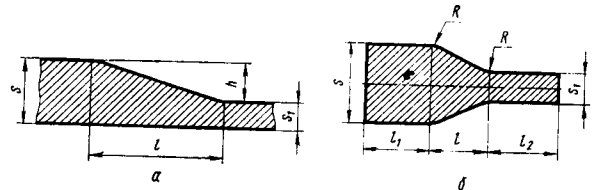


Рис. V.3.12. Выполнение одностороннего (а) и двустороннего (б) клиновых сопряжений.

Переход от толстого сечения к тонкому при значительном соотношении между s и s_1 (рис. V.3.12, б) осуществляют с помощью участка l , длину которого берут:

для отливок из алюминиевых и магниевых сплавов

$$l \geq 3 \left(\frac{s l_1}{s + l_1} - \frac{s_1 l_2}{s_1 + l_2} \right);$$

для стальных отливок

$$l \geq 4 \left(\frac{s l_1}{s + l_1} - \frac{s_1 l_2}{s_1 + l_2} \right).$$

При соотношении толщин стенок $\frac{s}{s_1} > \frac{2}{3}$ допускается принимать радиусы закруглений, приведенные на рис. V.3.13.

L-образное (угловое) сопряжение при правильном выборе радиусов имеет наименьшую склонность к образованию усадочных дефектов. При со-

отношении размеров углового сопряжения, приведенных в табл. V.3.3, величина h составит:

$$\begin{aligned} \text{при } s:s_1 < 1,25 \quad h &= 0; \\ s:s_1 &= 1,25 \div 1,8 \quad h = s - s_1; \\ s:s_1 &= 1,8 \div 2,5 \quad h = 0,8(s - s_1); \\ s:s_1 &> 2,5 \quad h = 0,7(s - s_1). \end{aligned}$$

Таблица V.3.3

Формы и размеры L-образного (углового) сопряжения стенок

Характер сопряжения	Эскиз
$s = s_1 \quad \alpha = 75 \div 105^\circ$	
$s = s_1 \quad \alpha < 75^\circ$	
$s = s_1 \quad \alpha > 105^\circ$	
$s = 1,25 s_1 \quad \alpha = 75 \div 105^\circ$	
$s > 1,25 s_1 \quad \alpha = 75 \div 105^\circ$	
$s > 1,25 s_1 \quad \alpha < 75^\circ$	

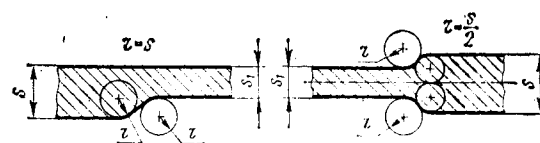


Рис. V.3.13. Выполнение перехода при незначительной разнице толщин сопрягаемых стенок.

Для отливок из стали $l \geq 5h$, отливок из алюминиевых и магниевых сплавов $l \geq 4h$. Радиусы закруглений r определяют по графикам на рис. V.3.14, a и b , округляют и принимают по ряду предпочтительных чисел (ГОСТ 6636—60).

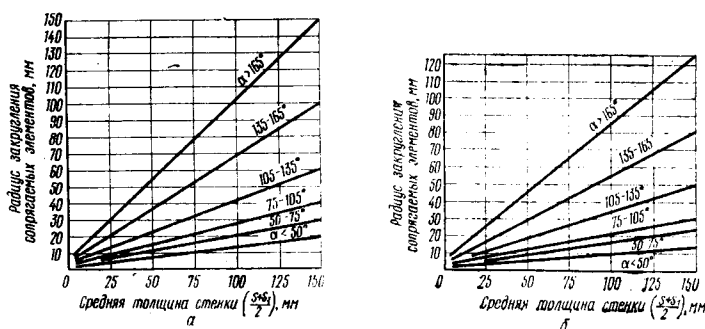


Рис. V.3.14. Графики для определения радиусов сопряжений L-, T- и V-образных узлов из стали (α) и алюминиевых и магниевых сплавов (o).

В T-образном (тавровом) сопряжении стенок (см. рис. V.3.14, б) могут образовываться усадочные дефекты при наличии острых углов и большой разнице в толщинах сопрягаемых стенок, а также при больших радиусах галтелей.

Радиусы сопряжений r определяют по графикам на рис. V.3.14, a и b согласно СТП 52-4194—72.

При соотношении размеров $s:s_1$, приведенных в табл. V.3.4, значения h составят:

$$\begin{aligned} \text{при } s:s_1 < 1,25 \quad h &= 0; \\ s:s_1 &= 1,25 \div 1,8 \quad h = 0,5(s - s_1); \\ s:s_1 &= 1,8 \div 2,5 \quad h = 0,4(s - s_1); \\ s:s_1 &> 2,5 \quad h = 0,35(s - s_1). \end{aligned}$$

Для отливок из стали и сплавов $l \geq 10h$, для отливок из чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов $l \geq 8h$.

K-образное сопряжение стенок применяют преимущественно в ребристых конструкциях. В местах сопряжения возможно образование усадочных дефектов (раковин, рыхлот, утяжин), поэтому металл необходимо рассредоточить (рис. V.3.15).

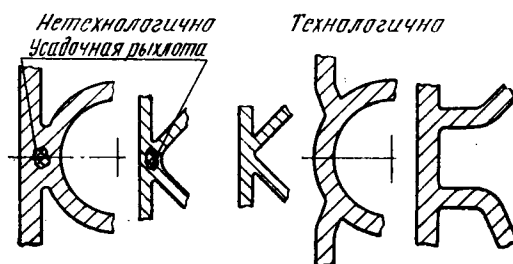


Рис. V.3.15. K-образные сопряжения.

Таблица V.3.4

Формы и размеры Т-образного (таврового) соединения

Характер сопряжения	Эскиз
$s \approx 1,25s_1, \alpha = 75^\circ \div 105^\circ$	
$s \approx 1,25s_1, \alpha < 75^\circ$	
$s > 1,25s_1, \alpha = 75^\circ \div 105^\circ$	
$s > 1,25s_1, \alpha < 75^\circ$	

V-образное сопряжение стенок не допускает угол α выполнять острым, его необходимо закруглять по радиусу r (рис. V.3.16).

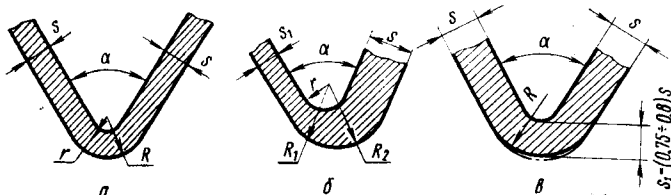


Рис. V.3.16. Технологичные V-образные равностенные сопряжения с углом $\alpha \leq 60^\circ$ (а), $\alpha \leq 75^\circ$ (б), неравностенное с $\alpha \leq 60^\circ$ (в).

Радиусы закруглений принимают:
при $s = s_1, s \geq 10$ мм и $\alpha < 60^\circ$ $r \geq s$; $R = r + s_1$ (рис. V.3.16, а);

при $s \neq s_1, \frac{s + s_1}{2} \geq 10$ мм и $\alpha < 60^\circ$ $r \geq \frac{s + s_1}{2}$;
 $R_1 = s_1 + r$; $R_2 = s + r$ (рис. V.3.16, б).

При конструировании детали, имеющей углы $\alpha \leq 75^\circ$, толщину стенки s_1 в вершине угла берут меньше, чем у боковых стенок (рис. V.3.16, в). Ве-

личину радиуса R находят по графику на рис. V.3.14 или подбором.

Вилкообразное сопряжение стенок не допускает проектировать с острым углом α (рис. V.3.17), его следует закруглять. Формы сопряжений приведены в табл. V.3.5.

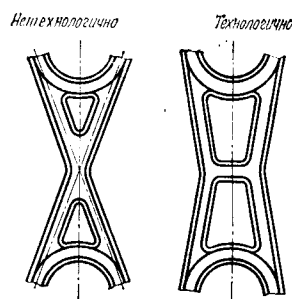


Рис. V.3.17. Вилкообразное сопряжение.

Таблица V.3.5

Формы и размеры вилкообразного сопряжения

Характер сопряжения	Эскиз	r	r_1	R
$s < 25$ мм $\frac{s_1}{s} > \frac{2}{3}$		$\geq s_1$ (при $r \geq 10$ мм и $\alpha < 60^\circ$)	$0,3 s$	$r + s_1$ $r + \frac{s + s_1}{2}$
$s > 25$ мм $\frac{s_1}{s} < \frac{2}{3}$		$0,3 s$	s_1	$2 s$
$s \geq 25$ мм $\frac{s_1}{s} < \frac{2}{3}$		$0,3 s_1$	s_1	$\frac{s + 3 s_1}{2}$

Как установлено, деформационная способность металла при кристаллизации на порядок больше его линейной усадки. Причиной образования таких усадочных дефектов, как горячие трещины, является неравнопрочность сечений литой детали при затвердевании и, как следствие, локализация деформаций в «слабых» сечениях. Поэтому одним из условий обеспечения качества литых деталей, независимо от принципа ее затвердевания, является обеспечение равнопрочности сечений. Для выполнения этого условия необходимо упрочнить «слабые» сечения, которыми при затвердевании являются «тепловые» узлы: бобышки, платики, полки, массивные ребра и переходы к ним.

Для упрочнения слабых мест путем повышения интенсивности их охлаждения при затвердевании

используют наружные и внутренние холодильники, окраску кокиля производят по трафарету. Конфигурация литой детали должна обеспечивать возможность размещения в форме холодильников (рис. V.3.18 а, б и в).

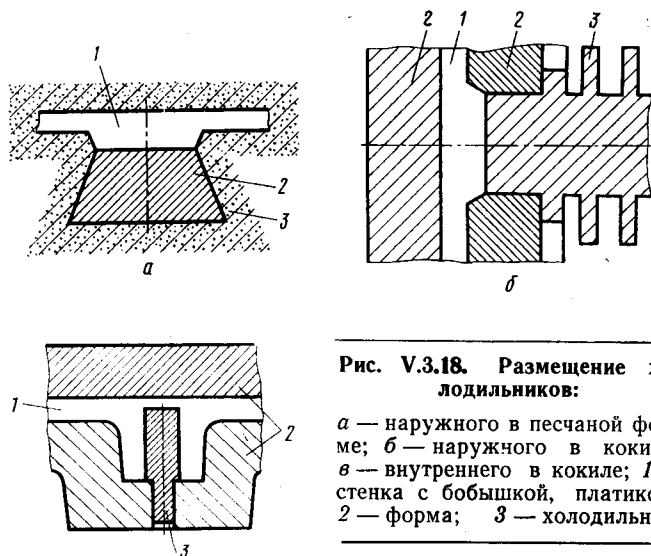


Рис. V.3.18. Размещение холодильников:

а — наружного в песчаной форме; б — наружного в кокиле; в — внутреннего в кокиле; 1 — стенка с бобышкой, пластиком; 2 — форма; 3 — холодильник.

При конструировании литых деталей следует выбирать рациональное соотношение размеров сопряжений с тем, чтобы избежать образования термических напряжений 1-го рода вследствие неравномерного охлаждения (рис. V.3.19). Следует конструировать литые детали, используя рациональные сопряжения групп а и б.

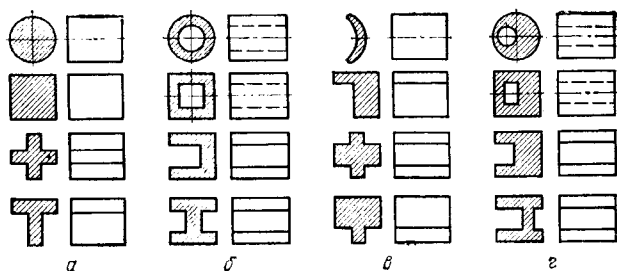


Рис. V.3.19. Примеры возможных сечений:

а — усадка тормозится за счет трения о форму; б — усадка тормозится формой вследствие защемления сечения; в — возникновение термических напряжений; г — возникновение термомеханических напряжений.

При выборе конфигурации сечений литых деталей из легких цветных сплавов следует учитывать низкий модуль упругости и чувствительность к местным концентрациям напряжений. Поэтому для получения достаточной жесткости следует применять сечения с большим моментом инерции, то есть сечения двутавровые, швеллерные, коробчатые.

Если происходит скручивание детали, то необходимо применять замкнутые сечения.

СОПРЯЖЕНИЯ СТЕНКИ ЛИТОЙ ДЕТАЛИ С РЕБРАМИ

Ребра служат для увеличения прочности, жесткости и технологичности литой детали в целом и отдельных ее частей. Ребра позволяют уменьшить сечения отдельных элементов детали, регулиро-

вать напряжения и деформации как в отдельных частях, так и во всей детали, тем самым снизить массу, повысить надежность и размерную точность детали, предотвратить образование таких дефектов, как трещины, коробление и ужимины.

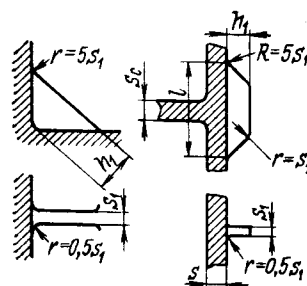
По назначению ребра, оформляемые на детали, можно разделить на три группы:

- силовые (основные и вспомогательные);
- жесткости;
- технологические.

Основные силовые ребра увеличивают прочность отливок в направлении главных напряжений, вспомогательные, расположенные в стороны от основных, рассредоточивают нагрузку по элементам литой детали. Ребра жесткости усиливают слабые элементы отливки. Применение технологических ребер в конструкции литой детали улучшает ее качество, при этом на стадии затвердевания отливки обеспечивается равномерность сечений литой детали, регулируются напряжения в сечениях литой детали и ее деформации. Тонкие ребра (или их сетка) выполняют роль холодильников, что способствует повышению прочности узла при затвердевании (табл. V.3.6).

Таблица V.3.6

Размеры литых ребер



Толщина основной стенки s , мм	Толщина литого ребра s_1 , мм	Высота литого ребра h_1 в мм при отношении длины плеча к толщине основной стенки $l_1 : s$				Расстояние между литыми ребрами в мм при отношении толщины смежной и основной стенки $s_c : s$		
		до 8	8—16	16—24	св. 24	до 1	1—2	2—3
2—4	1,5	4	6	8	10	20	15	10
4—6	2,0	6	8	10	12	25	20	15
6—8	2,5	8	9—10	12—16	16—20	35	30	20
8—10	3,5	8	10—13	15—20	20—25	50	40	25
10—12	4,0	8	12—15	18—22	22—30	60	50	30
12—14	4,5	9	15—18	20—26	26—35	70	60	35
14—16	5,0	10	17—20	23—30	30—40	80	65	45
16—18	5,5	11	18—22	25—34	34—44	90	75	50
18—20	6,0	12	20—24	28—36	36—48	100	80	55
20—25	7,0	15	25—30	35—45	45—60	110	90	60

Примечание. При $s_c : s < 2$ принимать меньшее значение, при $s_c : s > 2$ — большее.

Оформление в «слабом» месте литейных ребер позволит повысить механическую прочность и жесткость узла и перехода к нему.

Регулирование напряжений 1-го рода, связанных с силовым взаимодействием отливки с формой, в литых деталях достигается с помощью специальных технологических ребер, устанавливаемых перпендикулярно направлению усадки. Эти же функции могут выполнять силовые ребра и ребра жесткости, а также выступающие части литой детали и впадины при равномерном их распределении (рис. V.3.20).

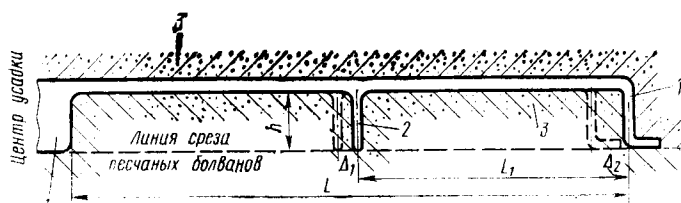


Рис. V.3.20. Рассредоточие напряжений и деформаций отливки с помощью технологического ребра:

1 — элементы торможения усадки; 2 — технологическое ребро; 3 — полуформа; L и L_1 — базы заземления; Δ_1 и Δ_2 — деформация формы.

Только заготовки самой простой формы и небольших размеров можно получать по принципу «свободной» усадки. При увеличении габаритных размеров отливки напряжения при затвердевании возрастают вследствие торможения усадки из-за трения о форму. Усадке препятствуют выступающие части (и полости) и тем сильнее, чем прочнее форма.

Таким образом, значение и распределение напряжений зависит от прочности формы, базы заземления, распределения прочности в отливке и форме, скорости затвердевания и т. д.

Наиболее удобно регулировать и распределять напряжение в отливке, изменяя базу заземления L (см. рис. V.3.20). Добавляя n ребер, мы в $n+1$ раз ограничиваем напряжения, защемляя части отливки. При этом снижается уровень напряжений в отливке. При литье в песчаные формы при отношении базы заземления к высоте ребер $\frac{L_1}{h}$ до 7,5 происходит срез песчаных болванов.

В отливке как в единой конструкции усадка протекает свободно, защемленным оказывается отдельно каждый элемент отливки. Это устраняет суммирование напряжений по длине отливки. Уровень напряжений в каждом элементе определяется сопротивлением болвана усадке. Распределяя равномерно ребра, можно получить равномерное распределение напряжений по отливке.

При литье в металлические формы отливка оказывается полностью защемленной ребрами в форме, размеры ребер могут быть минимальными, например 2×3 мм (микроребра).

В соответствии с распределением напряжений протекает деформация отливки. Она оказывается ограниченной по значению и более равномерно распределенной, что повышает размерную точность отливок.

Итак, при конструировании тонкостенных крупногабаритных отливок, особенно из высокопрочных

сплавов, необходимо стремиться к их равномерному оребрению. Наиболее технологична конструкция литой детали, когда роль технологических ребер выполняют силовые ребра и ребра жесткости, например панель вафельной конструкции (рис. V.3.21, а). Технологичность конструкции можно повысить, используя Т-образное шахматное оребрение (рис. V.3.21, б).

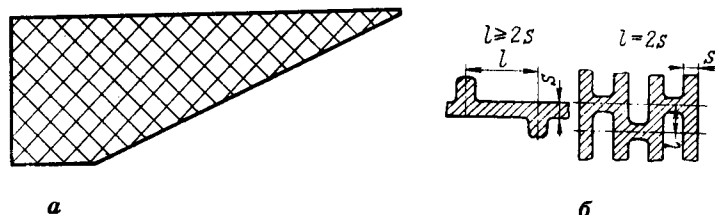


Рис. V.3.21. Пример технологичной конструкции (а) и рациональное шахматное оребрение (б).

Рекомендуемые типы сопряжений ребер со стенками литых по выплавляемым моделям деталей из стали ВНЛ-3 приведены в табл. V.3.7. Основные элементы сопряжений (Т-, Z- и X-образные) из стали ВНЛ-3 проверены на долговечность при знакопеременных нагрузках.

В отличие от рекомендаций общетехнического профиля табл. V.3.8, сопряжения, приведенные в табл. V.3.7, имеют большие значения радиусов сопряжения ребра и стенки. Рекомендуемые значения лежат в пределах 0,8—1,25 толщины ребра. Общетехнологические рекомендации дают значения радиусов сопряжения ребра со стенкой в пределах 0,3—0,5 толщины ребра, что больше отвечает условиям статических нагрузок.

Оптимальная толщина ребер в сопряжениях (см. табл. V.3.7) для стали находится в пределах 0,4—0,5 толщины основной стенки. Рекомендуемые сопряжения спроектированы для направленного затвердевания.

Для деталей из магниевых сплавов МЛ5 и МЛ10, получаемых литьем по выплавляемым моделям, технологичными являются равностенные конструкции отливок, состоящие из сочетаний плоской стенки, Т-образных и Z-образных элементов (табл. V.3.9). X-образные узлы не рекомендуются применять в конструкциях отливок, их следует заменять Z-образными узлами с расстоянием между ребрами не менее 6 толщин ребра. При соотношении толщин ребра и стенки менее 0,8 рекомендуется питание подводить со стороны основной стенки, так как ребро выполняет роль холодильника, а при отношении более 1,4 питание давать в ребро. Оптимальный радиус закругления в узлах рекомендуется делать равным толщине ребра.

Максимальные механические свойства и долговечность имеют плоские стенки, Т-, X- и Z-образные узлы со стенкой толщиной 5 мм, полученные литьем по выплавляемым моделям, и 7 мм, полученные литьем в песчаные формы.

Точность размеров и шероховатость поверхности отливок, получаемых литьем по выплавляемым моделям, на 2 класса выше точности размеров и шероховатости отливок, получаемых литьем в песчаные формы. В результате снижается масса детали на 7—11% и повышается в 1,2—1,8 раза их долговечность при циклических нагрузках.

Таблица V.3.7

Рекомендуемые типы сопряжений ребер со стенками для высокоресурсных конструкций

Вид сопряжения	Эскиз	Размеры
Стенка с ребром, расположенным посередине (Т-образное сопряжение)		$H \leq 5s_1$; $s_1 = 1,0s$; $L = 3,25s_1$
Стенка с ребрами, расположенными с двух сторон (Z-образное сопряжение)		$H \leq 5s_1$; $s_1 = 0,5s$; $R = 1,0s$; $L = 3,25s_1$
Стенка с ребрами по краям		$H \leq 5s_1$; $s_1 = 0,6s$; $R = 0,8s$; $L = 3,55s_1$
Стенка с ребрами, расположенными посередине, с двух сторон (X-образное сопряжение)		$H \leq 5s_1$; $s_1 = 0,4s$; $R = 1,0s_1$
Стенка с наклонным ребром посередине		$\alpha \geq 45^\circ$; $R_1 = 1,25s_1$; $R_2 = 1,0s$; $s_1 = 0,5s$; $s_2 \leq 0,8s$
Вилкообразное ребристое сопряжение		$R_1 = 0,5s$; $R_2 = 0,8s$; $R_3 = 1,0s$
Кольцевое сопряжение с ребрами		$s_1 = 0,5s$; $R = 1,25s_1$
Кольцевое сопряжение с большим количеством ребер в одном узле		$D \geq s$; $s_1 = 0,5s$; $R = 1,25s_1$

Таблица V.3.8


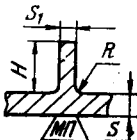
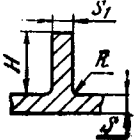
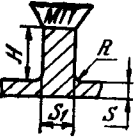
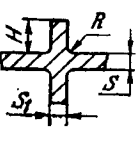
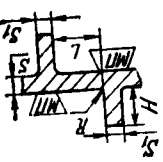
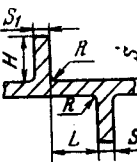
Применяемые сопряжения стенки литой детали с ребрами

Вид сопряжения	Эскиз	Размеры
Стенки с ребром, расположенным посередине		$H \leq 5s$; $s_1 = 0,8s$; $D = 1,5s$; $r = 0,5s$; $r_1 = 0,25s$
Стенки с ребрами по краям		$H \leq 5s$; $s_1 = s$; $D = 1,2$; $r = 0,3s$; $r_1 = 0,25s$
Вилкообразное ребристое сечение		$R_1 = 1,5s$; $D = 1,25s$; $r = 0,5s$; $r_1 = 0,25s$
Кольцевое сечение с ребрами		$s_1 = 0,8s$; $D = 1,25s$; $r = 0,5s$; $r_1 = 0,25s$
Кольцевое сечение с большим количеством ребер в одном узле		При условии $D \geq 4s$
Сечение с ребрами и квадратным отверстием		$b \leq 0,5s$; $R = 0,8s$; $r_1 = 0,25s$; $r_2 = 0,25s$; $D = 1,25s$; $s_1 = s$

Примечание. Размеры s , R , d и l выбирают по конструктивным соображениям.

Таблица V.3.9

Рекомендуемые размеры и свойства конструктивных элементов в отливках из магниевых сплавов

Тип конструктивного элемента	Эскиз	Размеры	Свойства	
			временное сопротивление σ_B , кгс/мм ²	долговечность, циклы, $\sigma_{\max} = 8,5$ кгс/мм ²
Плоский		s	$\sigma_B < 21,4$	$> 30\,000$
Т-образный		$\frac{s_1}{s} < 0,8$; $H < 5s$; $R = s_1$	$\sigma_B > 16,2$	$< 25\,000$
		$\frac{s_1}{s} = 1,0$; $H < 5s$; $R = 1,0s_1$	$\sigma_B > 21,4$	$< 30\,000$
		$\frac{s_1}{s} > 1,4$; $\div 2,0 \leq s$; $R = s_1$	$\sigma_B < 17,5$	$< 30\,000$
Х-образный		$\frac{s_1}{s} = 1,0$; $H \leq 5s$; $R = 1,0s_1$	$\sigma_B < 19,8$	$< 25\,000$
Z-образный		$\frac{s_1}{s} = 1,0$; $H \leq 5s$; $R = 1,0s_1$; $L < 6s_1$	$\sigma_B < 20,8$	$< 25\,000$
		$\frac{s_1}{s} = 1,0$; $H \leq 6s$; $R = 1,0s_1$; $L > 6s_1$	$\sigma_B > 20,8$	$> 30\,000$
МП—место питания				

ОКНА, ПОЛОСТИ И ОТВЕРСТИЯ В ЛИТЫХ ДЕТАЛЯХ

В стенках литых деталей отверстия-окна предусматриваются в целях

- уменьшения массы детали;
- улучшения заполняемости формы металлом;
- снижения усадочных напряжений в отливке;
- установки и вентиляции стержней, оформляющих внутренние полости отливок.

В стенках значительной протяженности или площади следует предусматривать отверстия круглой, овальной или прямоугольной формы (рис. V.3.22). Размеры отверстий желательно принимать максимально допускаемыми, исходя из прочности детали. Наличие отверстий в стенках уменьшает ширину заполняемой полости (потока), что снижает вероятность образования «застойных» зон, улучшает заполняемость форм, устраняя опасность образования незаливов и неспаев.

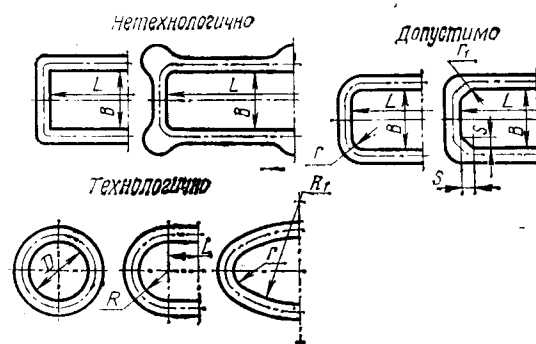


Рис. V.3.22. Оформление отверстий-окон в стенках литых деталей технологичное, допустимое и нетехнологичное.

Уменьшение поверхности стенок отливок уменьшает силы, тормозящие усадку, вследствие трения отливки о форму, что способствует снижению напряжений в литых деталях, это особенно важно для плоских отливок значительных габаритных размеров.

Кромки литых окон упрочняют отбортовкой, которая предотвращает возникновение горячих и холодных трещин (табл. V.3.10). Оси отверстий следует располагать в плоскости разреза формы.

Минимальные размеры отверстий, получаемых в отливках при различных способах литья, указаны в табл. V.3.11.

Внутренние полости литых деталей следует конструировать так, чтобы избежать применения стержней, которые усложняют и удорожают технологический процесс. Желательно выполнять выступы и впадины формы с помощью болванов.

Машинная формовка полостей, расположенных в нижней полуформе, возможна при $H \leq D$ (рис. V.3.23), а полостей, расположенных в верхней полуформе, при $h \leq 0,3d$. Необходимо соблюдать отношение $H < N$ и $h < n$. При ручной формовке

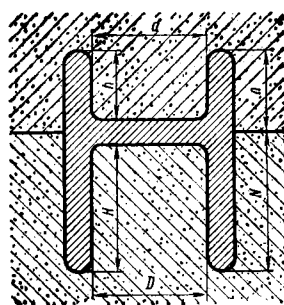


Рис. V.3.23. Рекомендуемые размеры внутренних полостей литых деталей, оформляемых болванами.

принимают $H \leq 0,5D$ и $h \leq 0,15d$. При этом устраняются возможности сколов болванов, разрушений форм, болваны не выступают за плоскость разреза формы.

Таблица V.3.10

Форма и размеры отбортовок необрабатываемых отверстий

Эскиз	r_1	r_2	h	b

Если без применения стержней нельзя обойтись, то следует учитывать следующее:

— внутренние полости детали должны иметь окна для стержневых знаков размерами, достаточными для свободного вывода газов из стержня (рис. V.3.24, а, б, в);

— на внутренних полостях должны быть окна размерами, достаточными для надежного крепления стержней в знаках (рис. V.3.24, *д, ж*);

— одну поверхность стержня желательно иметь плоской для удобства машинного изготовления, сушки и транспортировки.

При длине стержня, превышающей удвоенный его диаметр, форма полости должна предусматривать возможность крепления стержня за оба конца (рис. V.3.24, *д*). Размеры полости (отверстия), образуемой стержнями, должны допускать применение литых и проволочных каркасов для упрочне-

ния стержней, а также свободное их удаление при выбивке и возможности очистки внутренней поверхности.

Таблица V.3.11

Рекомендуемые минимальные размеры необрабатываемых отверстий в литых деталях

Способ литья	Сплавы	Минимальный диаметр отверстия, мм	Глубина, выраженная в диаметрах отверстия	
			несквозного	сквозного
В песчаные и оболочковые формы	Все	8—10	—	5
В кокиль	Цветные	8	2	5
Под давлением	Цинковые	2,0	3	8
	Магнневые	2,5	3	5
	Алюминиевые	3,0	3	5
	Медные	5	1	2
По выплавляемым моделям	Цветные	5	1	2
	Черные	5	1	2
В набивные графитовые формы	Титановые	12	2	5
В оболочковые графитовые формы	„	10	2	4
В прессованные графитовые формы	„	10	3	5
По выплавляемым моделям в графитовые формы	„	8	1	3
В металлический кокиль	„	15	1	2

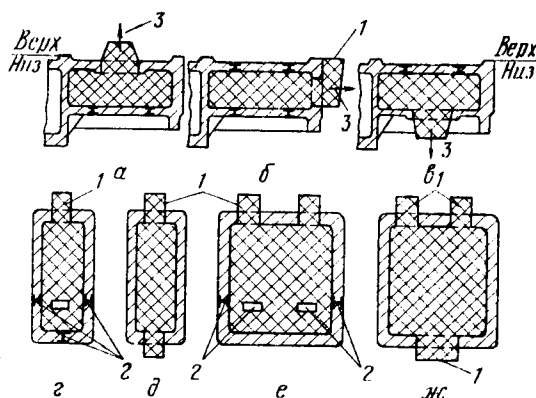


Рис. V.3.24. Установка стержней с отводом газа вверх (а), вбок (б), вниз (в), с жеребейками (г, е), без жеребеек (д, ж):

1 — знаки стержней; 2 — жеребейки; 3 — выход газов.

Отверстия для знаков стержней следует располагать так, чтобы стержни прочно удерживались в форме своими знаками и не изменяли положения

от действия собственной массы и массы жидкого металла.

Учитывая естественное направление горячих газов снизу вверх, окна для вентиляции следует располагать на поверхностях, которые при заливке будут верхними (рис. V.3.24, а).

Для установки и крепления стержней должно быть минимум два знака, чтобы избежать использования жеробек (рис. V.3.24, е).

ВЫПОЛНЕНИЕ УКЛОНОВ И КОНУСНОСТИ НА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

При проектировании литой детали необходимо предусмотреть возможность удаления: модели из формы, отливки из постоянной формы, стержня из стержневого ящика, металлического стержня из отливки.

Для обеспечения возможности удаления модели из формы на модели должны выполняться формовочные уклоны, которые наносятся на чертеж детали в виде конструктивных уклонов или указываются в ТУ. Формовочные уклоны, придаваемые рабочим поверхностям литейных моделей, регламентируются ГОСТ 3212—80 и выполняются на моделях в направлении извлечения их из формы, размер уклонов в градусах (угол β).

Стандарт распространяется на формовочные уклоны наружных и внутренних поверхностей (рис. V.3.25), применяемые при машинной и ручной формовке по металлическим и деревянным моделям песчаных и оболочковых форм, а также при литье по выплавляемым моделям.

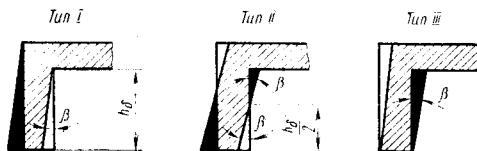


Рис. V.3.25. Формовочные уклоны поверхностей.

Формовочные уклоны на моделях в зависимости от требований, предъявляемых к поверхности отливки, должны быть выполнены:

- на обрабатываемых поверхностях — сверх припуска на механическую обработку, за счет увеличения размеров отливки (см. рис. V.3.25, тип I);
- на необрабатываемых поверхностях, которые не сопрягаются с другими деталями, за счет одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки (рис. V.3.25, тип II);
- на необрабатываемых поверхностях, которые сопрягаются с другими деталями, за счет уменьшения, увеличения или одновременного увеличения и уменьшения размеров отливки (см. рис. V.3.25, тип I, II и III).

Величины формовочных уклонов основных формообразующих поверхностей модельного комплекта при применении песчано-глинистых смесей указаны в табл. V.3.12 (ОСТ 3212—80).

Таблица V.3.12

Формовочные уклоны моделей

Высота основной формообразующей поверхности, мм	Формовочный уклон β модельного комплекта	
	металлического, пластмассового	деревянного
10	2°17'	2°54'
10—18	1°36'	1°54'
18—30	1°09'	1°31'
30—50	0°48'	1°02'
50—80	0°34'	0°43'
80—120	0°26'	0°32'
120—180	0°19'	0°23'
180—250	0°19'	0°22'
250—315	0°19'	0°22'
315—400	0°18'	0°21'
400—500	0°17'	0°21'
500—630	0°17'	0°19'

Величины формовочных уклонов основных формообразующих поверхностей в углублениях моделей в случае, когда диаметр или наименьшая ширина углубления более высоты основной формообразующей поверхности $d > h$, указаны в табл. V.3.13 (ГОСТ 3212—80).

Таблица V.3.13

Высота основной формообразующей поверхности, мм	Формовочный уклон β модельного комплекта при $d > h$	
	металлического, пластмассового	деревянного
10	4°34'	5°45'
10—18	3°11'	3°49'
18—30	2°40'	3°03'
30—50	1°42'	2°05'
50—80	1°13'	1°26'
80—120	0°54'	1°03'
120—180	0°38'	0°46'
180—250	0°37'	0°44'

Примечания:

1. При соотношении $\frac{d}{h} \leq 1$ внутренние поверхности отливки могут быть выполнены стержнями.
2. Для болванов, снимаемых вместе с верхней опокой, размер формовочного уклона может быть увеличен до двух раз.

Формовочные уклоны в стержневых ящиках рекомендуется выполнять равнозначными наружным уклонам моделей.

Формовочные уклоны могут искажать форму необрабатываемой поверхности, поэтому их следует учитывать в конструктивных уклонах на чертеже литой детали.

Таблица V.3.14
Формовочные уклоны литых деталей

Сплавы	Способ литья	Литейные уклоны β поверхностей			
		внутренних	наружных	внутренних	наружных
		минимальные	оптимальные	минимальные	оптимальные
Титановые	В графитовые формы, получаемые по деревянной и металлической оснастке	1°30'	1°	2°	1°30'
	В графитовый и металлический кокиль	1°30'	0°30'	1°30'	1°
	В оболочковые формы	1°	1°	1°	1°
	По выплавляемым моделям	0°30'	0°30'	0°30'	0°30'
Алюминиевые	В кокиль (в том числе с помощью металлических стержней)	1°	0°30'	1°30'—3°	1°
	Под давлением	0°30'	0°15'	1°	0°45'
Магниевого	В кокиль (в том числе с помощью металлических стержней)	1°	0°30'	1°30'—3°	1°
	Под давлением	0°30'	0°15'	1°	0°45'

Примечания:

1. Приведенные значения уклонов применять для поверхностей, не подвергающихся механической обработке.
2. Минимальные уклоны применяются в тех случаях, когда оптимальные уклоны не обеспечивают удовлетворения технических требований, предъявляемых к конструкции детали.
3. Формовочные уклоны моделей для литья титановых сплавов в набивные формы устанавливать по ГОСТ 3212—57.

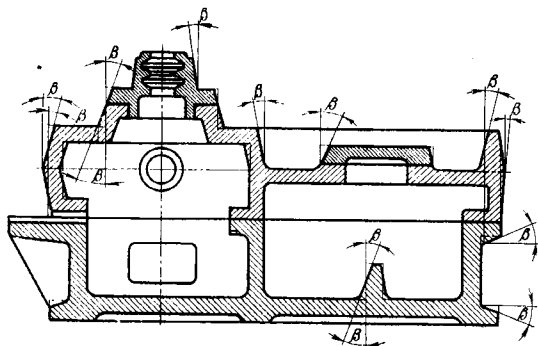


Рис. V.3.26. Пример выполнения формовочных уклонов для сопряжений необрабатываемых стенок с деталями.

Правильный выбор размера и направления литейных уклонов позволяет установить наиболее рациональную толщину стенок отливки и обеспечить минимальную ее массу (рис. V.3.26 и табл. V.3.14).

Конструктор указывает в чертеже детали направление формовочного уклона (в сторону увеличения или уменьшения размера). Если направление уклона не оговорено, то он выполняется в сторону увеличения размеров детали.

НАЗНАЧЕНИЕ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ, ДОПУСКАЕМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ НА РАЗМЕРЫ И МАССУ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Класс точности на размеры литых деталей назначается для деталей из легких цветных титановых сплавов по ОСТ 1.41154—72; жаропрочных сталей и сплавов конструкционных и нержавеющей сталей по ГОСТ 2009—55.

Класс точности назначается конструктором, исходя из требований, предъявляемых к деталям, с учетом возможности и экономической целесообразности получения литой детали с заданной точностью.

Класс точности литой детали назначается, исходя из точности большинства размеров и указывается на поле чертежа в технических условиях, а также в зависимости от способа литья, габаритных размеров и сложности отливки и предъявляемых к детали требований.

Предельные отклонения каждого класса определяются по ОСТ 1.41154—72 в зависимости от максимального размера детали.

Допуски, устанавливаемые ОСТ 1.41154—72, включают сумму всех отклонений (линейных, угловых, в том числе непараллельность, перпендикулярность и т. д.), имеющих место на различных стадиях изготовления литой детали, кроме отклонений, обусловленных наличием литейных уклонов.

В допусках по ОСТ 1.41154—72 не предусмотрено изменения размеров за счет литейных уклонов, однако последний допускает повышение точности на отдельные размеры литой детали на 50% и разрешает в специальных технических условиях на поставку деталей оговаривать местные отклонения толщин стенок, превышающие допуск: отклонения размеров крупногабаритных деталей корпусного типа, вызываемые короблением при литье и термической обработке; пониженную точность деталей первых партий.

Глава 4. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Чертежи элементов литейной формы и литой детали выполняются согласно ГОСТ 2.423—73.

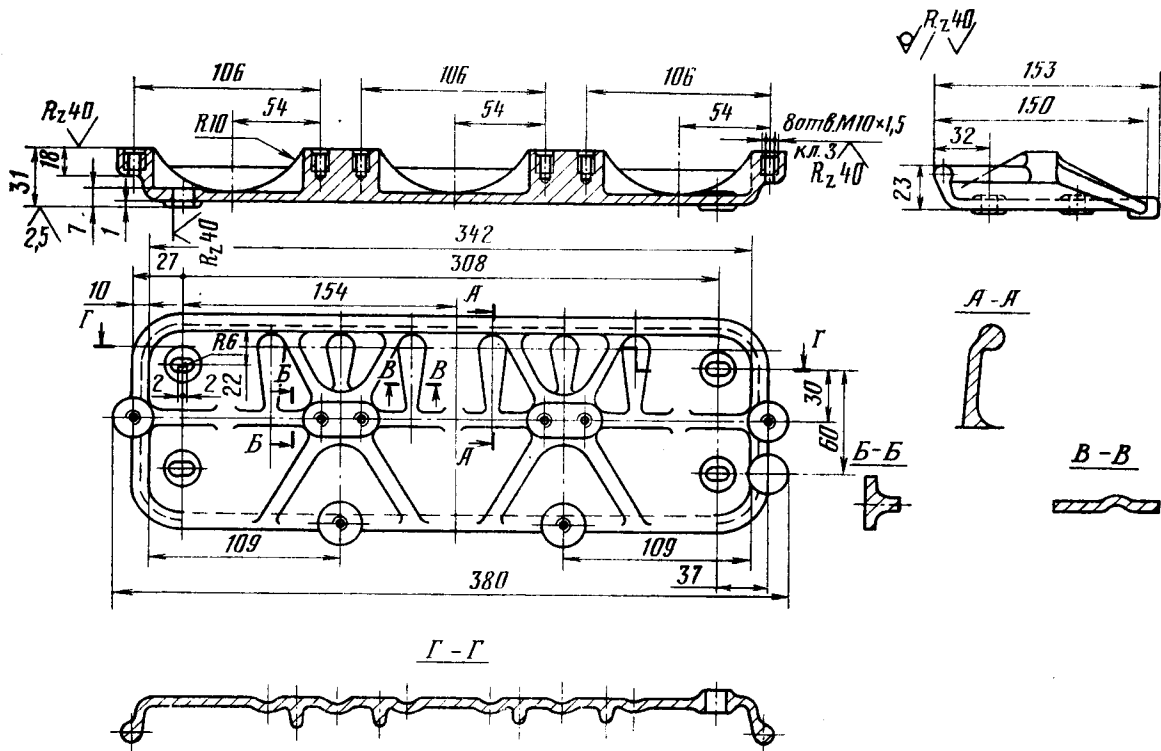
Кроме общих требований, предъявляемых к рабочим чертежам и предусмотренных единой системой конструкторской документации (ЕСКД) (ГОСТ 2.107—68; 2.109—68; 2.301—68÷2.309—68; 2.310—68÷2.316—68), на чертежах литых деталей

указывают технические требования, которые следует располагать по возможности справа от изображения в следующем порядке:

— группа контроля деталей: для алюминиевых сплавов — по ОСТ 1.90021—71, для магниевых сплавов — по ОСТ 1.90001—70, для титановых сплавов — по ОСТ 1.90060—72;

— предельные отклонения размеров: для цветных сплавов — по ГОСТ 1.41154—72; для конструкционных и нержавеющей сталей — по ГОСТ 2009—55, для чугуна — по ГОСТ 1855—55;
— требования к качеству литой поверхности в

— места рентгеновского просвечивания;
— указания о маркировании и клеймении.
В чертежах литых деталей, не имеющих теоретического обвода, допуски на отливки назначаются по ГОСТ 1.41154—72, ГОСТ 2009—55, а в чертежах



Пример оформления чертежа литой детали из алюминиевого сплава.

Технические требования:

1. Деталь второй группы контроля.
2. Твердость *HV* 65 кгс/мм².
3. Отклонение размеров по классу Лт6 (ГОСТ 1.41154—72).
4. Внешние технологические радиусы скругления — 3 мм.
5. Литейные уклоны — 1°.
6. Приемка по ГОСТ 1.90021—71.

состоянии поставки по ГОСТ 2940—63, 2789—73, ГОСТ 1.90021—71, 1.90060—72;
— места вырезки образцов для механических испытаний;
— литейные уклоны — по ГОСТ 3212—57;

деталей, имеющих теоретический обвод, берутся с плаза. В чертежах остальных литых деталей, не связанных с теоретическим контуром, указывать все размеры (см. рисунок).

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по авиационным материалам. Цветные сплавы, ч. 1. М., «Машиностроение», 1965.
2. Авиационные материалы. Справочник. Т. 2. ВИАМ, 1975.
3. Авиационные материалы. Справочник. Т. 5. ВИАМ, 1973.
4. Перечни-ограничители № ПО 1—73—ПО 5—75 марок сталей и сплавов, рекомендуемых к использованию в опытном производстве изделий длительного ресурса авиационной техники на 1973—1977 гг. ВИАМ, 1973.
5. Оптовые цены отливок поковок, штамповок и деревянных модельных комплектов. Прейскурант № 25—01. М., Прейскурантиздат, 1971.
6. Оптовые цены на отливки, поковки, штамповки и кольца для авиационной техники. Прейскурант № 75—87 (МАП СССР). М., 1975.
7. Методы оценки прочности и надежности материалов. ВИАМ, 1974.
8. СТП 51-4194—72. Требования по обеспечению технологичности литых деталей. ГАЗиСО, 1972.
9. ТР-1.4.222—77. Литые тонкостенных деталей из магнитных сплавов по выплавляемым моделям. НИАТ, 1977.
10. Анисимов Н. Ф., Благоев Б. П. Проектирование литых деталей. М., «Машиностроение», 1967.
11. Скрабинский М. Конструирование отливок. Машигиз, 1961.
12. Каширцев Л. П. Анализ горячеломкости алюминиевых, кремниевых сплавов на основе их реологической модели. «Физика и химия обработки материалов», 1977, № 1.
13. Степанов Ю. А., Гини Э. И., Соколов Е. А., Матвейко Ю. П. Литые тонкостенных конструкций. М., «Машиностроение», 1965.
14. Рекомендации по технологичности конструкций авиационных и специальных двигателей. НИАТ, 1972.
15. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. НИАТ, 1972.

Механическая обработка деталей и узлов широко применяется в производстве самолетов. Трудоемкость механической обработки деталей и узлов самолетных конструкций составляет 25—35% от общей трудоемкости изготовления изделий. Использование в конструкциях крупногабаритных монолитных деталей сложных форм и труднообрабатываемых материалов вызывает рост объема работ по механической обработке.

Снижение трудоемкости механической обработки может быть осуществлено за счет повышения технологичности конструкций деталей и узлов. В свою очередь технологичность деталей и эксплуатационные качества изделий зависят от использования в них соответствующих материалов, рациональных заготовок, удобных форм деталей, правильной простановки размеров, назначения оптимальных точности размеров и шероховатости поверхностей деталей.

При проектировании механообрабатываемых деталей следует стремиться к изготовлению их по малоотходным, наиболее прогрессивным технологи-

ческим процессам с минимальной обработкой резанием.

Руководство по технологичности деталей, обрабатываемых резанием, содержит данные по выбору рациональных заготовок из соответствующих материалов, по проектированию отдельных элементов конструкций деталей и типовых деталей основных классов с примерами технологичных и нетехнологичных деталей.

Краткие сведения по элементам технологии и оборудованию приведены для ознакомления конструкторов с особенностями методов механической обработки и их возможностями.

При составлении руководства использован опыт совместных работ комплексных технологических бригад НИАТ и ОКБ, а также опыт работы на серийных заводах.

Руководство по технологичности самолетных конструкций предназначено для конструкторов КБ отрасли для использования в целях создания наиболее технологичных конструкций деталей и узлов, обрабатываемых резанием.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ МЕХАНООБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

МАТЕРИАЛ ЗАГОТОВОК

В современных конструкциях изделий к материалам механически обрабатываемых деталей предъявляются разнообразные требования, связанные с их прочностью, массой, обрабатываемостью и другими физическими и механическими свойствами. Для их изготовления применяется большое количество различных видов и марок материалов. Учитывая развитие и дальнейшее совершенствование конструкций изделий, не представляется возможным рекомендовать определенные виды и марки материалов. Однако для создания более технологичных конструкций деталей при выборе материала рекомендуется:

1. Применять минимальное количество марок материалов, так как большое их разнообразие усложняет серийное производство изделий, кроме того, возникают трудности с хранением материалов. Так, например, из одиннадцати марок малоуглеродистых сталей: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45,

50, 55, 60 для изготовления деталей можно рекомендовать стали 20 и 45. Из хромистых сталей: 15Х, 20Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х, рекомендуется сталь 40Х.

При выборе горячедеформируемых и литейных материалов в каждом случае следует консультироваться с технологом-специалистом.

2. Учитывать вид заготовки и способ ее изготовления. Так, выбор способа литья зависит от марки материала.

3. Применять марки материалов с более повышенными коэффициентами обрабатываемости.

Коэффициент относительной обрабатываемости материала может быть выражен формулой

$$K = \frac{v}{v_{45}},$$

где v — скорость резания, допускаемая при обработке металла;

v_{45} — скорость резания, допускаемая при обработке стали 45.

Таблица VI.1.1

Классификация материалов по обрабатываемости резанием и режимы резания при их обработке

Номер группы	Марка материала	σ_B , кгс/мм ²	Глубина <i>t</i> , мм	Подача <i>s</i> , мм/об	Ориентировочная скорость резания при обработке		K_v по сравнению со сталью	
					ТС	БС	45	12Х18Н10Т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Теплостойкие, хромистые, хромоникелевые и хромомолибденовые стали перлитного и мартенситного классов								
I	Х6СМ, 34ХН3М, 20Х3МВФ (ЭИ415), 30ХМА, 30ХГСА, 40ХН2МА, 16Х3НВФМ6 (ДИ-39, ВКС-5)	60	5	0,1—0,4	170—250	30—65	0,7	1,4
		90			145—180	25—40	0,6	1,2
		120	3	0,1—0,3	75—95	15—30	0,3	0,6
		150	3	0,1—0,2	35—55	—	0,15	0,3
Коррозионно-стойкие нержавеющие, хромистые и сложнелегированные стали ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов								
II	12Х13, 25Х13Н2 (ЭИ474), 13Х12Н2ВМФ (ЭИ961), 14Х17Н2 (ЭИ268), 11Х11Н2В2МФ (ЭИ962), 1Х15Н2МФАБК4-Ш (ЭП866Ш), 1Х18Н2М2К5В (ЭИ768Ш), Х16Н4Б (ЭП56), ЭП517К	60	5	0,1—0,4	160—210	30—60	0,65	1,35
		90			130—180	25—45	0,6	1,2
		110	3	0,1—0,3	120—150	25—35	0,5	1,0
		130	3	0,1—0,2	70—90	13—22	0,3	0,6
Коррозионно-стойкие, кислотостойкие, жаростойкие хромоникелевые стали аустенитного и аустенитно-мартенситного классов								
III	Х18НТ, 20Х23Н18 (ЭИ417), Х15Н5Д2Т (ВНС-2), ВНЛ-3, 12Х21Н5Т (ЭИ811), Х15Н9Ю (ЭИ904), Х17Н5М3 (СН-3), Х15Н9Ю (СН-2), Х15Н7ЮМ2 (СН-4)	60	5	0,1—0,4	120—150	25—35	0,5	1,0
		90	5	0,1—0,3	100—130	20—30	0,42	0,85
		120	3	0,1—0,3	65—95	15—25	0,3	0,55
Жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие, хромоникелевые, хромоникелево-марганцовистые сложнелегированные стали аустенитного класса								
IVa	45Х14Н14В2М (ЭИ69), ЭИ395, 12Х25Н15Г7АР (ЭИ835), 37Х12Н8Г8МФБ (ЭИ481)	60	5	0,1—0,3	100—120	20—28	0,4	0,8
IVб	10Х11Н20Т3Р (ЭИ696), ЭП33, ЭИ696М, 15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654), ЭИ435	85	3	0,1—0,3	70—90	13—25	0,3	0,6
		70	5		40—60	12—20	0,18	0,35
		100	3	0,1—0,2	35—50	8—12	0,15	0,30
Жаропрочные деформируемые сплавы на железоникелевой и никельсвой основах								
V	36НХТЮ (ЭИ702), ХН60В (ВЖ98, ЭИ868), ХН35ВТЮ (ЭИ787), ХН77ТЮ (ЭИ437А), ЭП99, ХН56ВМТЮ (ЭП199), ХН67ВМТЮ (ЭП202), ХН75МВЮ (ЭИ827), ХН62ВМК10 (ЭИ867), ХН60МВТЮ (ЭП487), ХН82ТЮМБ (ЭП460)	80	3	0,1—0,2	40—50	8—12	0,16	0,32
		100	"	"	18—28	5—10	0,1	0,2
		125	"	"	13—20	4—6	0,05	0,1
Окалиностойкие и жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе								
VI	ВЛ45у, ЖСЗ-Д, ВЖ36-Л2, АНВ-300, ЖС6-К, ХН67ВМТЮЛ (ЭП202Л), ВЖЛ1, ВЖЛ2, ВЖЛ8, ВЖЛ12, ВЖЛ14	60	3	0,1—0,3	18—25	6—10	0,08	0,15
		80		0,1—0,2	8—12	4—6	0,04	0,08
		100	3	0,1—0,2	6—10	3—4	0,03	0,05
Сплавы на титановой основе								
VII	ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2, ВТ3, ВТ3-1, ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1, ВТ6, ВТ60, ВТ14, ВТ15, ВТ16, ВТ22, ВТ20, ВТ8, ВТ2	60	5	0,1—0,3	80—120	30—40	0,45	0,9
		90	5	0,1—0,3	45—60	25—35	0,4	0,8
		110	3	0,1—0,3	35—45	18—25	0,3	0,6
		130	3	0,1—0,2	25—35	15—20	0,11	0,22
		150	3	0,1—0,2	20—32	10—15	0,09	0,18
Высокопрочные стали								
VIII	28Х3СНМФА (СП28), 30Х2ГСН2ВМ (ВЛ1), 33Х3СНМВФА (СП33), 28Х3СНМВФА (СП38), 42Х2ГСНМ (ВКС-1), 43ХСНМВФА (СП43), Х15Н5Л2ТМ2 (ВНЛ-3), Х12Н5М5Г (ВНЛ-5), (ВНС-5), Х15Н5МВФ (ВНС-16), Х12Н5М6Д (ВНЛ-8), Х19Н2К7МВФ (ВЛС-22), Х4Н5ГС2МВ (ВКЛ-4у), Х20Н2М5К13В (ВНС-23у), ВКС-210	125	2	0,1—0,2	60—85	20—30	0,25	0,50
		150	"	"	45—65	7—10	0,2	0,4
		160	"	"	40—60	5—8	0,18	0,35
		170	"	"	35—55	4—5	0,15	0,30
		190	"	"	22—38	2—3	0,10	0,18
		200	"	"	18—28	—	0,08	0,15
		210	"	"	15—25	—	0,06	0,12

Продолжение табл. VI.1.1

Номер группы	Марка материала	σ_B , кгс/мм ²	Глубина t , мм	Подача s , мм/об	Ориентировочная скорость резания при обработке		K_v по сравнению со сталью	
					ТС	БС	45	12X18H10T
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Цветные сплавы и неметаллические материалы</i>								
IXa	Алюминиевые сплавы малой твердости, без кремния Д1, Д16, АК2, АК4, АК6, АМгБ, 01925	До 45	До 6	До 1	800—1000	Св. 1000	—	—
	Алюминиевые сплавы большой твердости, без кремния В92, В93, В95, В96Ц, ВАД23	Св. 45	"	"	600—800	1000	—	—
	Алюминиевые сплавы с незначительным содержанием кремния (1—5%) АВ, АД-35, АЛ-1, АЛ-3, АЛ-5, АЛ-7, ВАЛ-1	До 45	"	"	400—600	600—800	—	—
	Алюминиевые сплавы со средним содержанием кремния (5—13%) АЛ2, АЛ4, АЛ9, ВАЛ5	До 30	"	"	200—400	400—600	—	—
	Сплавы с повышенным содержанием кремния (свыше 13%) и Al_2O_3 , САС-1, САС-4, САП-1, САП-2, САП-3	До 40	"	"	—	100—400	—	—
IXб	Магниеые сплавы — МА5, ВМ65-1, ВМД-3, ВМД-6, МЛ10, ВМЛ-1, ВМЛ-4, ВМЛ-10, ВМЛ-7, ВМЛ-14	До 35	До 10	До 15	До 600	До 2000	—	—

Примечания:

1. В таблице указаны примерные скорости резания и относительная обрабатываемость на операциях точения (s и t см. табл.), торцевого и концевое фрезерования (при $s_z=0,05\div0,15$ мм/зуб, $t=2\div5$ мм, $B=60\div100$ мм, $D_\phi=80\div160$ мм).
2. Приведенные скорости резания соответствуют стойкости инструмента 30—45 мин при точении, 60—90 мин при фрезеровании.

Для сравнения свойств обрабатываемости различных материалов в табл. VI.1.1 приведены коэффициенты относительной обрабатываемости материалов, полученные в результате экспериментальных испытаний, проведенных в НИАТе и других организациях. За единицу принят коэффициент обрабатываемости стали 45 с $\sigma_B=75$ кгс/мм².

Ориентировочные скорости резания даны при обработке инструментом из твердых сплавов (ТС) в графе 6 и быстрорежущих сталей (БС) в графе 7.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

Технологичность конструкций механически обрабатываемых деталей главным образом зависит от выбора рациональных заготовок и способов их получения. Степень их технологичности определяется рядом коэффициентов. Объективную оценку технологичности деталей дают коэффициенты использования материала и относительная стоимость деталей в зависимости от вида заготовок и количества изготавливаемых деталей.

При выборе заготовки рекомендуется:

1. Стремиться к максимальному сокращению поверхностей, подлежащих обработке резанием, и к максимальному приближению форм заготовок к формам готовых деталей, так как даже минимальные припуски требуют последующей обработки поверхностей резанием.

2. Использовать, где это возможно по условиям прочности, литые заготовки. Они обеспечивают

— возможность получения сложных фасонных деталей с глубокими закрытыми внутренними полостями, коробчатой и другой формы со сложными криволинейными поверхностями при минимальной последующей механической обработке, а также заготовок повышенной точности, выполняемых методами литья под давлением и по выплавляемым моделям и т. д.;

— небольшое количество сопрягаемых поверхностей, обрабатываемых резанием;

— однородность механических свойств материала отливок в различных местах и различных направлениях;

— минимальную трудоемкость механической обработки деталей, изготавливаемых из всех материалов, в том числе и материалов, труднообрабатываемых резанием.

3. Применять прессованные профили постоянного и переменного сечений для изготовления деталей из легких сплавов, форма которых наиболее приемлема для рационального их использования.

4. Избегать некомпактных конструкций деталей путем членения их на более простые, с последующей сборкой посредством сварки, клепки и т. д. (рис. VI.1.1), что позволит использовать малогабаритные недорогие и недефицитные станки, а также значительно сократить расход материалов и снизить стоимость изделий.

5. В случае необходимости получения крупногабаритных конструкций деталей (панелей, балок, лонжеронов, шпангоутов и др.) и сложных конструктивных форм (рычагов, качалок, кронштейнов и т. п.) расчленять их на ряд простых деталей из листовых элементов и других рациональных заготовок с применением сварки или других неразъемных и разъемных соединений.

6. Исходные заготовки для механически обрабатываемых деталей выбирать с учетом наименьшей последующей механической обработки, так как большие припуски увеличивают стоимость дета-

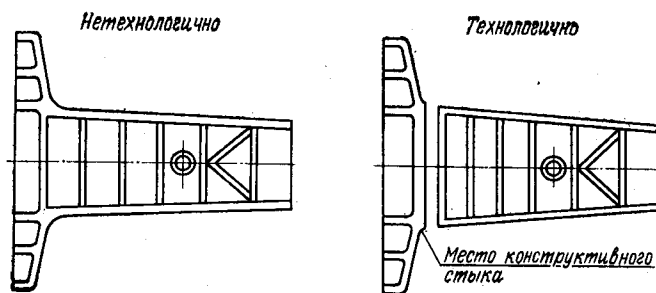


Рис. VI.1.1. Пример членения детали на простые элементы.

лей за счет больших затрат на механическую обработку и увеличения расхода материалов. Кроме того, механическая обработка снижает прочность деталей вследствие снятия упрочненного поверхностного слоя и перерезания волокон заготовок.

7. Применять, если это целесообразно по условиям масштаба производства, горячештапованные заготовки для изготовления деталей, подвергающихся при эксплуатации постоянным, переменным и ударным нагрузкам, которые не могут быть изготовлены из пресованных профилей или других более рациональных исходных заготовок.

8. При выборе заготовок учитывать их стоимость в зависимости не только от вида заготовки (литой, горячештапованной и др.), но и от способа ее получения (поковкой, грубой или точной штамповкой; литьем в кокиль, в оболочковые формы, в землю и др.).

Основным критерием технологичности деталей является их стоимость при условии, что предъявляемые к ним требования прочности, массы и аэродинамических свойств удовлетворяются при выбранном способе получения заготовок.

Стоимость деталей в значительной степени зависит от масштабов их производства.

Сравнительный график стоимости узла поворота приведен на рис. VI.1.2. Из графика видно, что стоимость деталей из грубых штамповок, начиная с программы 75 шт., ниже стоимости деталей, изготовленных из поковок, а стоимость деталей из точных штамповок всегда выше, чем стоимость деталей из грубых штамповок. Следовательно, детали, отдельные поверхности исходных заготовок которых не могут быть получены без последующей

механической обработки (детали с глубокими карманами, с обезуглероженным, альфированным, малолегированным поверхностным слоем и др.), целесообразно, хотя и очень дорого, с определенного количества изготавливать из грубых штамповок (из точных штамповок невыгодно).

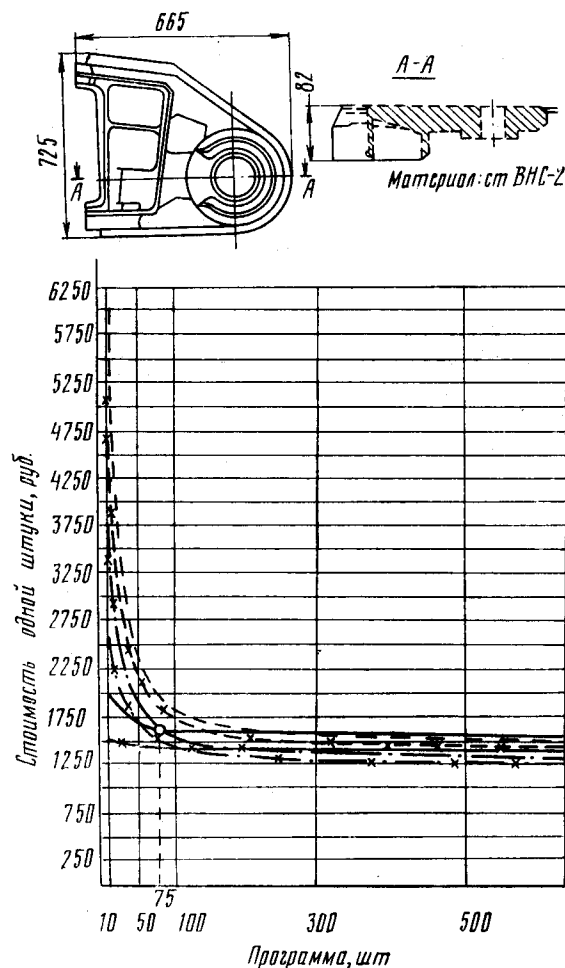


Рис. VI.1.2. График сравнительной стоимости узла поворота в зависимости от вида заготовки и условной годовой программы.

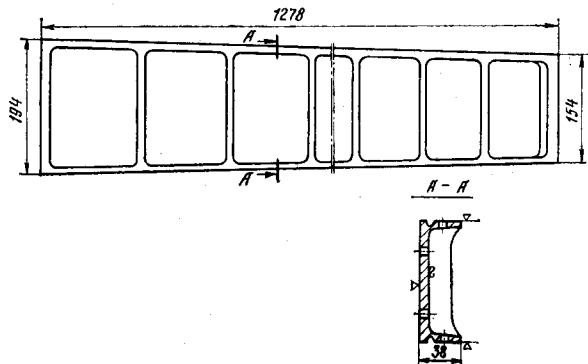
Условные обозначения:

- из поковки;
- - - из штамповки;
- · - · из точной штамповки.

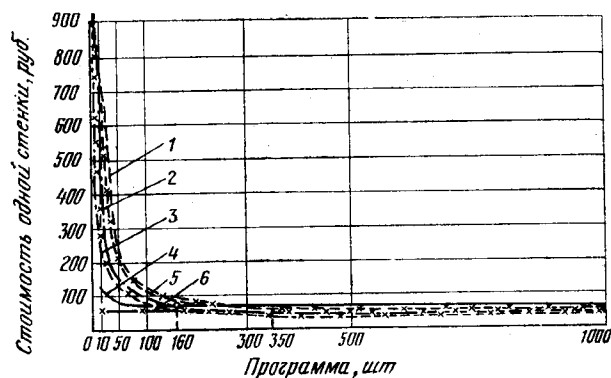
Стоимость заготовки из поковки, штамповки и точной штамповки — такие же кривые соответственно, но отмеченные крестиком.

Из сравнительного графика стоимости стенки крыла (рис. VI.1.3) видно, что стоимость деталей из грубых штамповок, начиная с программы 160 шт., ниже стоимости деталей, изготовленных из поковок, а начиная с программы 350 шт., стоимость деталей из точных штамповок ниже стоимости деталей, изготовленных из грубых штамповок. Следовательно, детали, значительная часть поверхности заготовок которых не подвергается механической обработке, целесообразно изготавливать с определенного количества из грубых штамповок, а затем с определенного количества — из точных штамповок.

Из сравнительного графика стоимости ушкового наконечника (рис. VI.1.4) видно, что стоимость этих деталей из штамповок с чеканкой, начиная с программы 420 шт., ниже стоимости деталей, изготовленных из прутка, а стоимость деталей из грубых штамповок всегда выше стоимости деталей из штамповок с чеканкой. Таким образом, средние и мелкие детали типа ушков, качалок целесообразно изготавливать из заготовок, полученных методом штамповки с последующей чеканкой сопрягаемых поверхностей.



а



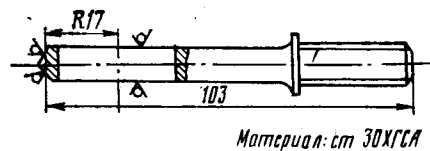
б

Рис. VI.1.3. График относительной стоимости стенки крыла в зависимости от вида заготовки (а) и условной годовой программы (б):

1, 5 — точная штамповка; 2, 3 — штамповка; 4, 6 — поковка (материал: сплав АК6).

Сравнительный график стоимости кронштейна при изготовлении из отливок, получаемых в землю и в кокиль, приведен на рис. VI.1.5. Стоимость деталей для обоих способов литья подсчитывалась с учетом текущих и единовременных расходов. Высокая стойкость кокиля при литье алюминиевых и магниевых сплавов вполне оправдывает затраты на его изготовление при литье большого количества деталей. Как видно из графика, начиная с программы 1200 деталей, их стоимость изготовления из кокильного литья становится ниже, чем из литья в землю. При этом качество заготовок, отлитых в кокиль, выше качества заготовок, отлитых в земляные формы.

Более подробные указания по выбору и проектированию рациональных заготовок даны в рекомендациях по литым и кузнечным заготовкам.



Материал: ст 30ХГСА

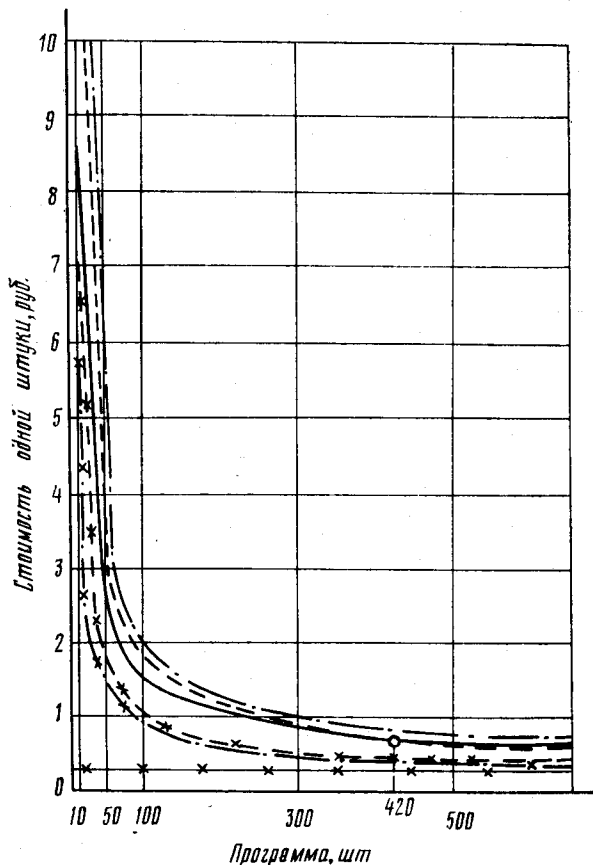


Рис. VI.1.4. График относительной стоимости ушкового наконечника в зависимости от вида заготовки и условной годовой программы.

Условные обозначения:

— из прутка;
— из штамповки;
— из штамповки с чеканкой.

Стоимость заготовки из прутка, штамповки, штамповки с чеканкой — такие же кривые соответственно, но отмеченные крестиком.

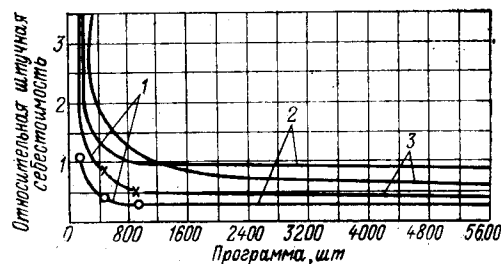
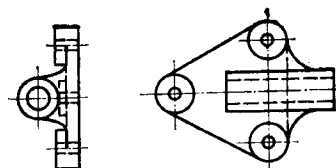


Рис. VI.1.5. График относительной себестоимости кронштейна замка кабины в зависимости от способов получения заготовки и количества деталей в партии:
1 — без механической обработки; 2 — литье в землю; 3 — литье в кокиль.

СИСТЕМА ПРОСТАНОВКИ РАЗМЕРОВ

Несмотря на то, что правила простановки размеров широко известны, все же необходимо отметить, что наилучшим вариантом простановки размеров является тот, при котором конструктивные базы совпадают с технологическими. При этом отпадает необходимость пересчетов технологических цепочек, упрощаются способы измерения детали, не уменьшаются допуски на размеры, что обычно наблюдается при введении технологических размеров и подсчете допусков для них, упрощается конструкция приспособлений и соблюдается наиболее рациональная последовательность технологических переходов и операций.

При проектировании деталей размеры следует задавать от реально существующих точек и поверхностей. Рекомендуется проставлять размеры так, чтобы замер детали можно было произвести прямым методом, без пересчета размеров. Ниже приведены некоторые примеры более рациональной простановки размеров, способствующей упрощению изготовления деталей. Простановка размеров, как показано на рис. VI.1.6, слева, осложняет обработку детали:

— при фрезеровании паза и наружных плоскостей вилки на универсальном приспособлении необходимо настраивать станок на каждую деталь, чтобы выдержать размер l_2 , так как положение вершины сферы будет колебаться в пределах поля допуска на длину $L-l$;

— затрудняются замеры детали из-за того, что срезается точка отсчета A , что необходимо для контроля деталей и пересчета размеров;

— при сверлении отверстия точно выдержать размер l_1 от кромок ушка практически невозможно, для этого потребуется создание сложного приспособления.

Рациональная простановка размеров (см. рис. VI.1.6, справа) не вызывает трудностей при изготовлении детали. В этом случае

— совпадение технологических и конструктивных баз позволяет производить фрезерование паза и проушин в универсальном приспособлении по настроенному процессу;

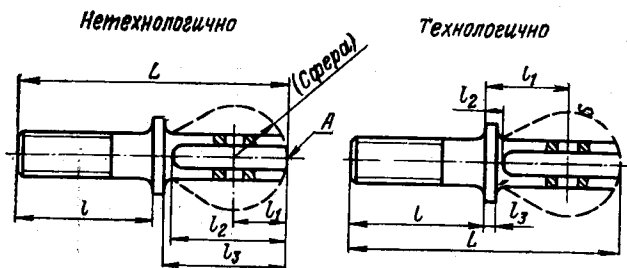


Рис. VI.1.6.

— замеры детали производятся обычным универсальным инструментом и не вызывают никаких затруднений;

— при сверлении отверстия размер l_1 выдерживается стабильно; при этом значительно упрощается конструкция приспособления.

На рис. VI.1.7 показана деталь, которая может быть изготовлена на револьверном станке. Размеры рекомендуется проставлять от одного торца,

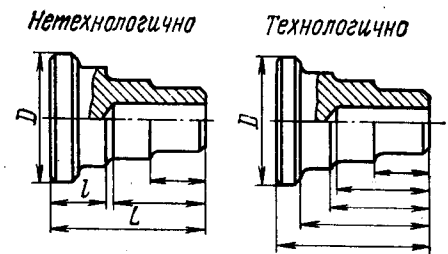


Рис. VI.1.7. Простановка размеров на детали, предназначенной для обработки на револьверном станке.

так как значительно упрощается настройка оборудования и устраняется технологический пересчет размеров $L-l$, который необходимо производить в случае «нетехнологично».

На рис. VI.1.8 изображена деталь с наружными и внутренними поверхностями вращения, которые не могут быть изготовлены на универсальном оборудовании за один установ. Размеры рекомендуется проставлять от того торца, который служит упором (базой) при обработке поверхности.

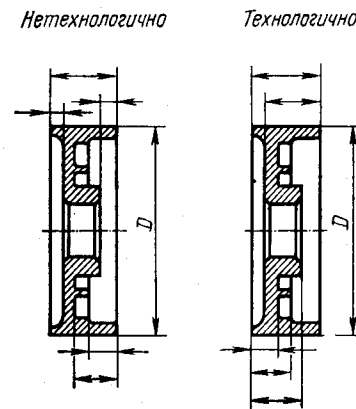


Рис. VI.1.8. Простановка размеров на детали с наружными и внутренними поверхностями вращения.

Простановка размеров, как показано на рис. VI.1.8, слева, требует пересчета размеров и сужает поле допуска.

Примеры рациональной простановки размеров приведены на рис. VI.1.9 и VI.1.10. Совпадение конструктивных и технологических баз позволяет

производить обработку по настроенному процессу, что дает возможность получить большую точность, идентичность деталей и упростить производственный процесс.

Не рекомендуется проставлять размеры на ушках и вилках от кромок ушка (вилки) или от оси отверстия ушка (вилки). При более рациональной простановке размеров обработка может производиться по настроенному процессу (рис. VI.1.11).

На чертеже не рекомендуется проставлять координаты инструмента, так как замеры их весьма сложны и требуют пересчетов размеров.

На рис. VI.1.12 показана деталь, у которой следует обработать паз по кривой. В этом случае размеры лучше задавать от оси отверстий, которые будут служить базой для крепления копира. Координата паза от кромок ушка усложняет производственный процесс, так как положение паза детали колеблется в зависимости от допуска на контур детали.

Не рекомендуется проставлять размеры от острых кромок и поверхностей, от которых замер детали весьма осложнен (рис. VI.1.13).

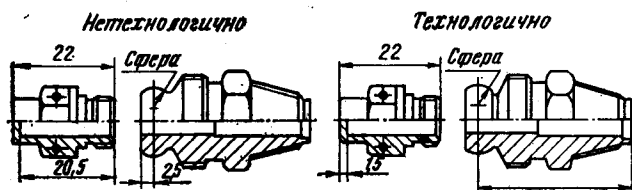


Рис. VI.1.9.

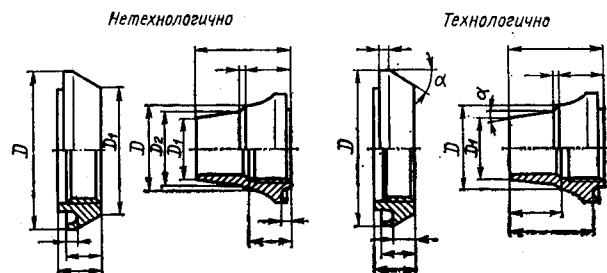


Рис. VI.1.9, VI.1.10. Рациональная простановка размеров.

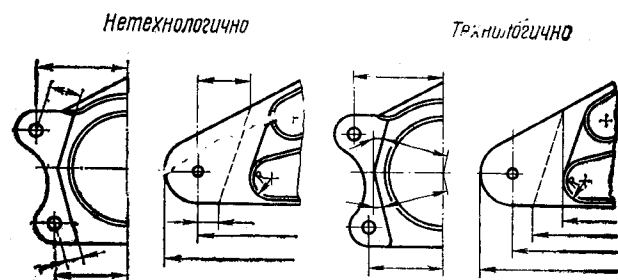


Рис. VI.1.11. Простановка размеров на детали типа ушка (вилки).

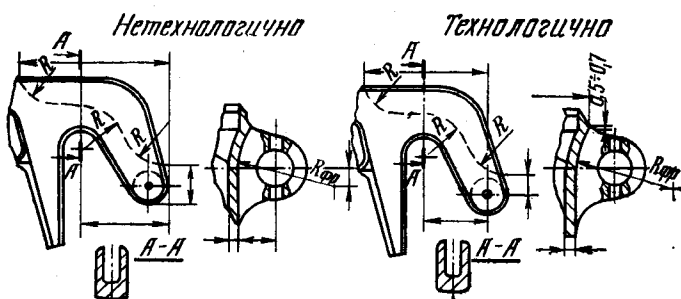


Рис. VI.1.12. Простановка размеров на деталях с криволинейными пазами.

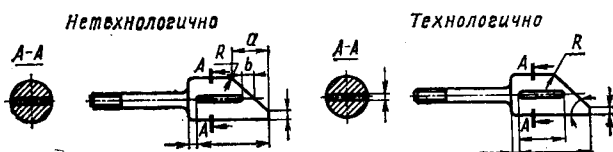


Рис. VI.1.13. Рациональная простановка размеров.

При фрезеровании лысок у деталей тел вращения размеры проставлять не от оси, а от образующей цилиндра, служащей базой в процессе обработки (рис. VI.1.14). В этом случае обработка производится по настроенному процессу и значительно упрощается замер детали.

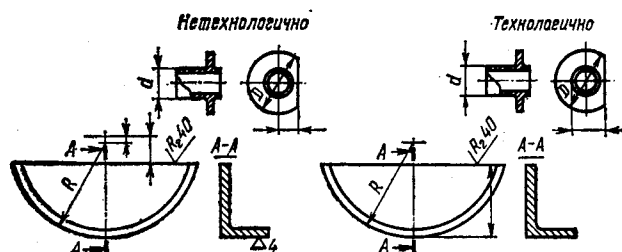


Рис. VI.1.14. Простановка размеров на деталях с обрабатываемыми лысками.

При простановке размеров на уклон рекомендуется задавать высоту и угол (см. рис. VI.1.13, VI.1.15). На конусной поверхности отверстия указывать наибольший диаметр и угол (рис. VI.1.16). Наличие угла позволяет быстро произвести настройку оборудования, выбрать нужный инструмент без дополнительных пересчетов, не сужая поля допусков.



Рис. VI.1.15. Простановка размеров на уклон.

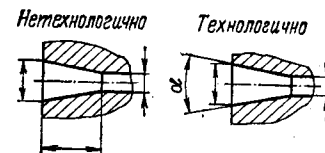


Рис. VI.1.16. Простановка размеров на деталях с конусными отверстиями.

На рис. VI.1.17 дан пример рациональной простановки размеров на кольцевые канавки. Канавки следует задавать углом α и наименьшей шириной b . Размер ширины b будет зависеть только от размера площади инструмента. Размеры большей ширины канавки колеблются в зависимости от погрешности на глубину врезания и допуска на внешний диаметр детали. Глубину кольцевых канавок желательно задавать диаметром d не более 160 мм.

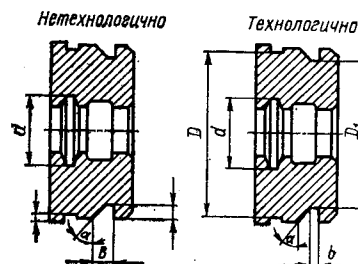


Рис. VI.1.17. Рациональная простановка размеров на кольцевые канавки.

При простановке размеров на длинномерные детали из профилей с криволинейным контуром ре-

комендуется давать развертку, которая значительно упрощает изготовление деталей при механической обработке (рис. VI.1.18).

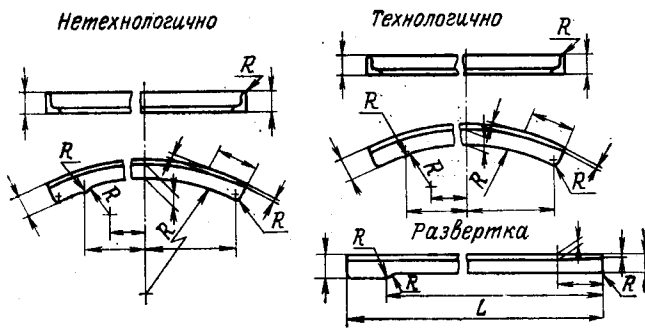


Рис. VI.1.18. Простановка размеров на длинномерные детали.

Простановка размеров от линии построения, реально не существующей, нежелательна, так как вызывает большие пересчеты при изготовлении и контроле детали. Рекомендуется размеры задавать от реально существующих плоскостей и линий (рис. VI.1.19).

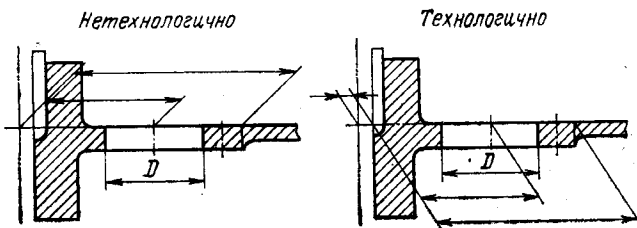


Рис. VI.1.19. Простановка размеров от реальных плоскостей и линий.

Не рекомендуется в размерах механически обрабатываемых деталей давать ссылку на плазовую увязку. В случае, если аэродинамический контур мало отличается от обычных геометрических форм (иногда в пределах поля допуска), следует задавать поверхности плоскостями или телами вращения с прямолинейной образующей (рис. VI.1.20).

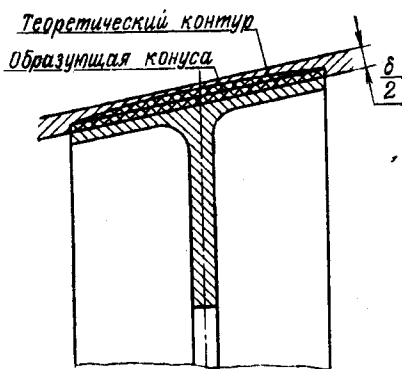


Рис. VI.1.20.

При простановке размеров на подсеку у длинномерных деталей не следует задавать размеры от теоретического контура. Размеры должны быть проставлены от наивысшей плоскости полки так, чтобы легко можно было бы определить размеры подсечек, толщину полок и общую толщину исходной заготовки (рис. VI.1.21).

На рис. VI.1.22 приведены два случая простановки размеров: не обеспечивающей и обеспечивающей замер элементов конструкции прямым мето-

дом без пересчетов на размер колебаний высоты детали в поле допуска.

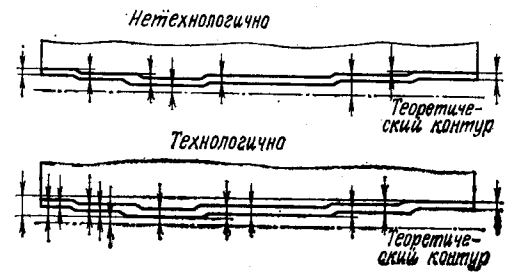


Рис. VI.1.21. Простановка размеров на подсеки и полки.

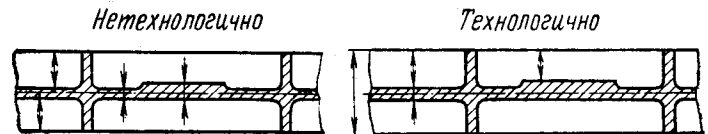


Рис. VI.1.22. Рациональная простановка размеров без пересчета.

Простановку размеров координат отверстий необходимо производить от одной базы, если конструктивные и технологические базы совпадают (рис. VI.1.23, VI.1.24). На рис. VI.1.24, слева дана деталь, отверстия которой закоординированы не от кромок детали, и от оси. При такой координации требуется применение нескольких кондукторов с различными базами. Справа показана деталь, отверстия которой могут быть изготовлены в одном кондукторе.

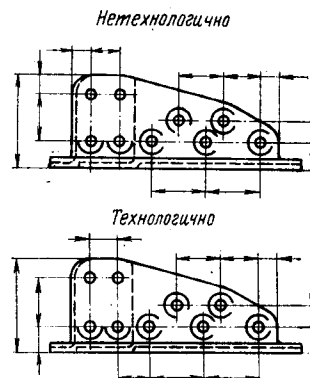


Рис. VI.1.23.

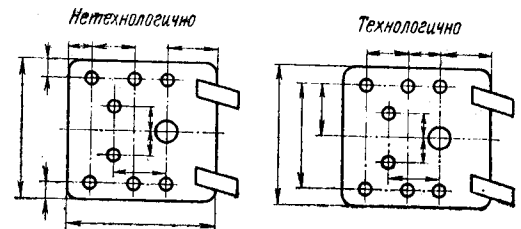


Рис. VI.1.24.

На деталях, у которых базой может служить отверстие, расположенное по оси, или наружная цилиндрическая поверхность, координацию остальных отверстий производить по окружности (рис. VI.1.25, VI.1.26).

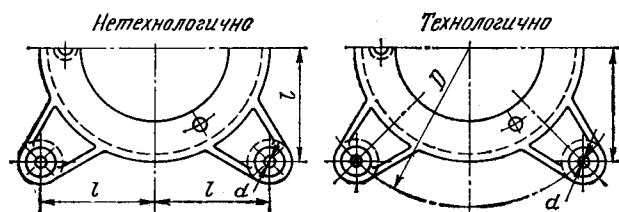


Рис. VI.1.25.

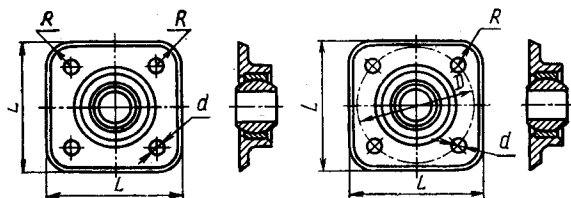


Рис. VI.1.26.

В крупногабаритных тонкостенных деталях с поверхностями вращения (диаметром свыше 500 мм) размер толщины стенки рекомендуется задавать (рис. VI.1.27)

— наружным и внутренним диаметрами со свободными размерами, когда колебания толщины стенки конструктивно допускаются;

— диаметром и толщиной стенки, когда толщину стенки необходимо выполнить в более жестких пределах. При этом допуск на толщину стенки задавать не выше 7-го класса точности.

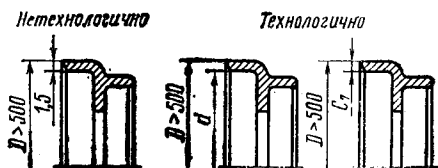


Рис. VI.1.27. Простановка размера толщины тонкостенных деталей.

В случае нетехнологичной простановки размеров допуск на толщину стенки 0,12 мм требует выполнения отверстия с полем допуска 0,24 мм, которое находится между полем допуска 3-го и 3а классов точности. Выполнение тонкостенных крупногабаритных деталей с такой точностью вызывает большие производственные трудности.

Простановку размеров необходимо проводить только между обрабатываемыми поверхностями или только между необрабатываемыми с увязкой их с базовыми поверхностями (рис. VI.1.28, VI.1.29).

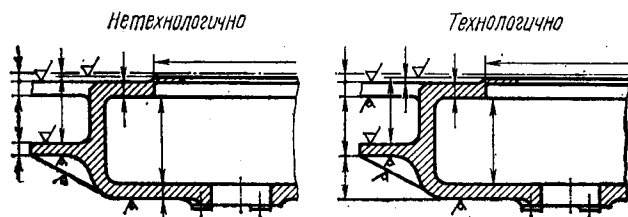


Рис. VI.1.28. Простановка размеров между обрабатываемыми поверхностями или необрабатываемыми.

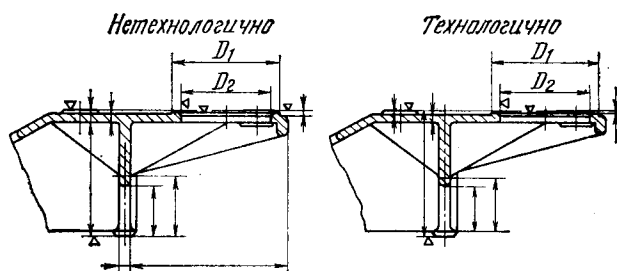


Рис. VI.1.29. Увязка обрабатываемых поверхностей с базовыми.

На рис. VI.1.30, слева изображен фитинг, у которого обрабатываемая плоскость отдалена от необрабатываемой на 1 мм. По нормали толщина стенки может колебаться в пределах $\pm 1,2$ мм, в этом случае обрабатываемая и необрабатываемая поверхности могут быть выполнены за одно целое, что значительно увеличит объем механической обработки.

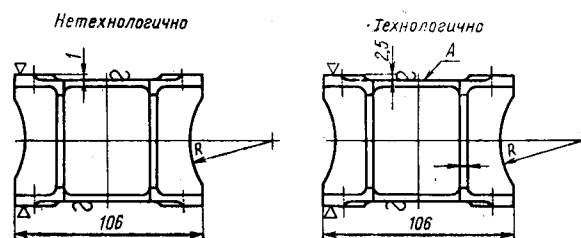


Рис. VI.1.30. Простановка размеров при малых уступах.

При простановке размеров между обрабатываемой и необрабатываемой поверхностью номинальный размер должен быть больше, чем допуск на заготовку. При разделении обрабатываемой поверхности от необрабатываемой или обрабатываемых с разных установов на чертеже следует обозначать уступ и оговаривать перепад радиуса R галтели (рис. VI.1.31).

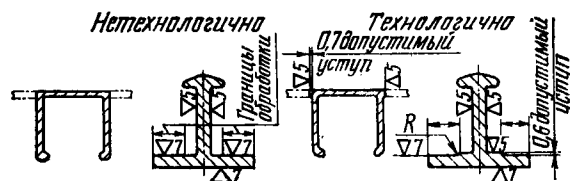


Рис. VI.1.31. Простановка размеров при разделении обрабатываемой поверхности от необрабатываемой.

При проектировании сложных деталей необходимо предусматривать технологические базы (например, плоскости одного уровня, отверстия и т. д.), что удешевляет оснастку, улучшает качество обработки и снижает ее трудоемкость (рис. VI.1.32).

В чертежах заготовок в случае необходимости рекомендуется предусматривать технологические приливы с отверстиями для установки и ориентации заготовок на станке, что повысит качество деталей, сократит сроки технологической подготовки и снизит расходы по оснастке (рис. VI.1.33). После удаления технологических приливов размеры целесообразно проставлять, предусматривая уступы.

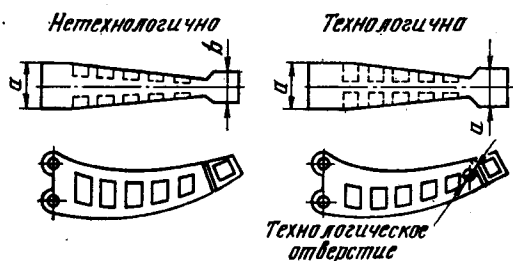


Рис. VI.1.32.

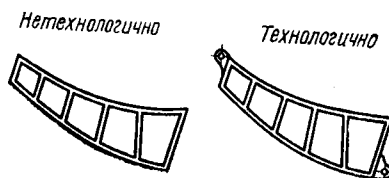


Рис. VI.1.33.

ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Точность размеров деталей непосредственно влияет на трудоемкость механической обработки — с увеличением точности детали резко возрастает трудоемкость (рис. VI.1.34). Наиболее экономичными будут детали, у которых меньшее количество

поверхностей, обрабатываемых с повышенной точностью, что достигается при использовании ряда широко известных конструктивных мер, которые ведут к увеличению допусков, но не ухудшают эксплуатационных качеств изделия.

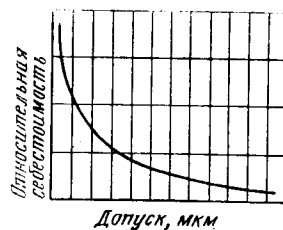


Рис. VI.1.34. График зависимости стоимости детали от размера допуска на изготовление.

Повышение точности ведет к увеличению производственного цикла, применению оборудования, приспособлений, мерительного инструмента повышенной точности, более быстрому износу режущего инструмента и привлечению квалифицированной рабочей силы. Поэтому конструктивные и технологические решения, связанные с обеспечением заданных точностей параметров деталей, должны быть выполнены наиболее производительными технологическими методами.

При определении класса точности или допуска следует иметь в виду, что экономическая точность обработки всегда значительно шире, чем возможно достигаемая, требующая определенного опыта, навыков и знаний от рабочего-исполнителя. В табл. VI.1.2—VI.1.8 даны рекомендации по достижению экономической и возможной точностей в зависимости от методов обработки. Допуски на свободные размеры отверстий и валов, а также на размеры, не относящиеся к размерам отверстий и валов, выполняются по отраслевой нормали 722АТ. На размеры между обрабатываемой и необрабатываемой поверхностями необходимо указывать допуск, который должен суммироваться из допусков на заготовку и механическую обработку или последующий другой вид обработки.

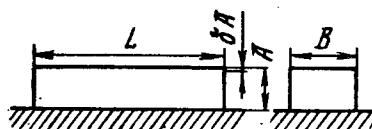
Точность обработки наружных цилиндрических поверхностей
мкм

Таблица VI.1.2

Метод обработки	Точность обработки	Длина до 180										Св. 180 до 500						Св. 500										
		Интервалы диаметров																										
		до 10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—260	260—360	360—500	500—700	700—1000	1000—1500	1500—2000	2000—2500	2500—3000	3000—3600	3600—4500	4500—5600	5600—7000	7000—9000	9000—11000	11000—14000	14000—18000	18000—22000	22000—28000	28000—36000
Обтачивание	Экономическая Возможная	90 30	90 30	100 30	150 20	150 20	150 20	200 20	200 25	200 30	120 30	150 20	160 20	170 20	200 20	200 25	200 30	200 40	200 30	200 30	250 30	250 40	250 40	250 40	250 40	250 40	250 40	250 40
Шлифование бесцентровое продольной подачи	Экономическая Возможная	17 10	19 10	22 12	27 12	37 15	38 15	42 15	45 20	50 20	27 12	32 12	42 15	42 15	45 20	45 20	50 20	37 12	45 15	45 15	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20
Шлифование бесцентровое радиальной подачи	Экономическая Возможная	17 10	19 10	22 12	27 12	37 15	38 15	42 15	45 20	50 20	27 12	32 12	42 15	42 15	45 20	45 20	50 20	37 12	45 15	45 15	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20
Шлифование продольной подачи	Экономическая Возможная	17 10	19 10	22 12	27 12	37 15	38 15	42 15	45 20	50 20	27 12	32 12	42 15	42 15	45 20	45 20	50 20	37 12	45 15	45 15	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20
Шлифование радиальной подачи	Экономическая Возможная	17 10	19 10	22 12	27 12	37 15	38 15	42 15	45 20	50 20	27 12	32 12	42 15	42 15	45 20	45 20	50 20	37 12	45 15	45 15	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20	45 20
Фрезерование на карусельно-фрезерном станке	Экономическая Возможная	—	—	—	150	200	400	500	600	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Доводка	Экономическая Возможная	3 2	3 2	4 2	4 2	5 2	6 3	7 3	9 4	11 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица VI.1.3

Точность обработки плоских поверхностей

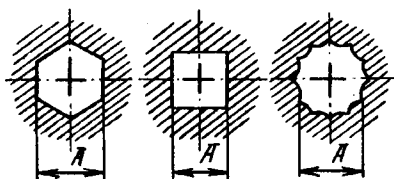


мм

Метод обработки	Точность обработки размера A	Длина L							
		до 120	120—360	360—500	500—1000	Ширина B			
		до 120	до 120	120—360	до 120	120—360	до 120	120—360	
Строгание	Экономическая Возможная	0,1 0,08	0,15 0,08	0,18 0,1	0,18 0,1	0,2 0,1	0,2 0,1	0,25 0,15	
Долбление	Экономическая Возможная	0,15 0,08	0,18 0,1	0,2 0,1	—	—	—	—	
Фрезерование торцевой фрезой	Экономическая Возможная	0,15 0,08	0,12 0,07	0,15 0,1	0,15 0,1	0,18 0,12	0,18 0,12	0,20 0,15	
Фрезерование цилиндрической фрезой	Экономическая Возможная	0,1 —	0,15 —	0,18 —	0,18 —	0,20 —	0,20 —	0,25 —	
Шлифование периферией круга	Экономическая Возможная	0,03 0,01	0,05 0,02	0,07 0,04	0,07 0,05	0,08 —	0,08 —	0,1 —	
Шлифование торцом круга	Экономическая Возможная	0,03 0,01	0,05 0,02	0,07 0,04	0,07 0,04	0,08 0,06	0,08 0,06	0,1 0,08	
Протягивание	Экономическая Возможная	0,04 0,02	0,06 0,03	0,09 —	0,09 —	0,1 —	—	—	
Шабрение	Экономическая Возможная	В зависимости от точности обработки предыдущих операций							
		0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,08	

Таблица VI.1.4

Точность обработки многогранных отверстий



Метод обработки	Точность обработки размера A по ГОСТ, класс	
	экономическая	возможная
Долбление	4	—
Протягивание	3	2
Притирка	3	2

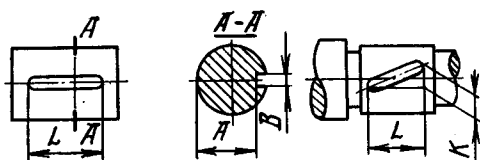
Таблица VI.1.5

Точность обработки цилиндрических отверстий

Метод обработки	Диаметр отверстия, мм	Точность обработки по ГОСТ, класс	
		экономическая	возможная
Сверление спиральными сверлами при неподвижной детали	До 80	5	4
Сверление спиральными сверлами при вращающейся детали	До 80	4	3а
Сверление спиральными сверлами по кондуктору	До 18 Св. 18 до 80	4 5	— 4
Рассверливание	От 18 до 80	4	—
Зенкерование	От 18 до 260	4	3
Развертывание	До 50	3	2
Растачивание	До 50 Св. 50 до 120 Св. 120 до 500	— 4 —	3 2 1
Тонкое растачивание	От 18 до 260	2	1
Внутреннее шлифование	До 260	3	1
Протягивание	От 18 до 260	2	—
Хонингование	От 18 до 260	2	1

Таблица VI.1.6

Точность обработки шпоночных пазов в зависимости от методов обработки

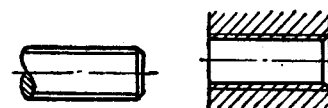


мм

Номи- нальный размер	Точность обработки							
	эконо- ми- чес- кая	ВОЗМОЖ- ная	эконо- ми- чес- кая	ВОЗМОЖ- ная	эконо- ми- чес- кая	ВОЗМОЖ- ная	эконо- ми- чес- кая	ВОЗМОЖ- ная
	строгание и долбле- ние		фрезерова- ние диско- вой фрезой		фрезерова- ние тор- цевой фрезой		протягива- ние пазов в отверстие	
<i>B</i>	Отклонение ΔB по ширине паза							
От 1 до 3	—	—	+0,2	+0,02	—	—	—	—
Св. 3 до 10	$\pm 0,2$	$\pm 0,03$	+0,5	+0,03	+0,1	+0,03	—	—
Св. 10 до 30	$\pm 0,3$	$\pm 0,05$	+0,8	+0,05	+0,2	+0,05	+0,02	+0,02
Св. 30 до 50	$\pm 0,5$	$\pm 0,20$	—	—	+0,3	+0,08	—	—
Св. 50 до 80	$\pm 0,5$	$\pm 0,20$	—	—	—	—	—	—
<i>L</i>	Отклонение ΔL по длине паза							
От 10 до 30	—	—	—	—	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$	—	—
Св. 30 до 80	—	—	—	—	$\pm 1,0$	$\pm 0,2$	—	—
Св. 80 до 260	—	—	—	—	$\pm 2,0$	$\pm 0,5$	—	—
<i>A</i>	Отклонение ΔA по глубине паза							
От 3 до 10	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$			$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	—	—
Св. 10 до 18	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,05$	—
Св. 18 до 30	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$			$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	—	—
<i>L</i>	Перекос боковых сторон паза <i>K</i> к оси изделия на длине 100 мм							
От 3 до 10					1,0	0,3	—	—
Св. 10 до 30	0,3	0,05	0,2	0,02	0,5	0,2	—	—
Св. 30 до 50					0,2	0,1	—	—

Таблица VI.1.7

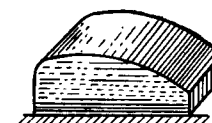
Экономическая точность изготовления резьб



Метод изготовления	Точность изготовления резьбы по ГОСТ 16093—70	
	поля допусков	
	наружной	внутренней
Нарезание резцом	6g	7H—6H
Нарезание гребенкой	6g	7H—6H
Нарезание плашкой	8g	—
Нарезание метчиком	—	7H—6H
Фрезерование резьбы	8g—6g	7H—6H
Накатывание плашками	6g	—
Накатывание роликами	6g—4h	—
Шлифование	6g—4h	6H—4H5H

Таблица VI.1.8

Точность обработки фасонных поверхностей



мм

Метод обработки		Точность обработки	
		экономическая	возможная
Ручная опиловка по шаблону		$\pm 0,2$	$\pm 0,05$
Строгание по разметке		$\pm 0,8$	$\pm 0,2$
Долбление по разметке		$\pm 0,8$	$\pm 0,2$
Фрезерование по разметке		$\pm 1,0$	$\pm 0,4$
Фрезерование по копиру		$\pm 0,5$	$\pm 0,2$
Обтачивание по копиру	отступление от геометрической формы	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$
	точность наружного диаметра	$\pm 0,15$	$\pm 0,07$
Обтачивание фасонным резцом	отступление от геометрической формы	$\pm 0,2$	$\pm 0,03$
	точность наружного диаметра	$\pm 0,1$	$\pm 0,035$

На рис. VI.1.35 показана деталь, толщину стенки которой можно выдержать только в случае механической обработки обеих сторон, в том числе и той, обработка которой не предусмотрена.

Допуски на размеры между обрабатываемой и горячештампованной поверхностями суммируются из половины допуска на заготовку и допуска на механическую обработку. Допуски на размеры между литейной и механически обрабатываемой поверхностями для деталей из цветных сплавов необходимо брать по ОСТ 1.41154—72, а для деталей из стали — по ГОСТ 2009—55.

На размеры, получаемые механической обработкой с последующим размерным химическим травлением, необходимо давать суммарные допуски — из допуска на механическую обработку и допуска на размерное химическое травление.

При оформлении чертежей деталей, требующих точного выполнения геометрических форм, необходимо указывать допустимые отклонения на прямолинейность, непараллельность, перпендикулярность, овальность, конусообразность, бочкообразность и др.

Отклонения от правильной геометрической формы плоских поверхностей

Непрямолинейность — наибольшее отклонение C от прямой линии профиля контролируемой поверхности в нормальном к ней сечении в контролируемом направлении (рис. VI.1.36).

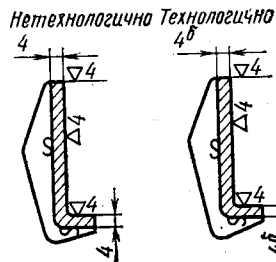


Рис. VI.1.35. Допуск на размер между обработанной и необработанной поверхностями.

Неплоскостность — наибольшее отклонение от прямолинейности в любом направлении на контролируемой плоскости.

Непараллельность — ошибка во взаимном расположении параллельных элементов детали, когда разность между двумя размерами a_1 и a_2 в двух выбранных секущих поверхностях, лежащих на расстоянии L друг от друга, не равна нулю (рис. VI.1.37).

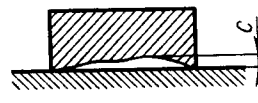


Рис. VI.1.36.

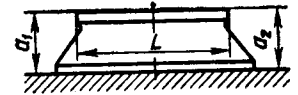


Рис. VI.1.37.

Неперпендикулярность — ошибка в расположении взаимно перпендикулярных элементов детали, когда угол между ними больше или меньше прямого (рис. VI.1.38).

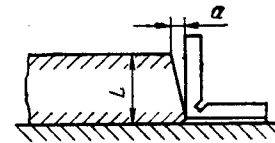
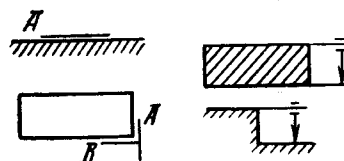


Рис. VI.1.38.

Минимальные отклонения от правильной геометрической формы по неплоскостности, непараллельности и неперпендикулярности приведены в табл. VI.1.9.

Таблица VI.1.9

Минимальные отклонения от правильной геометрической формы по неплоскостности, непараллельности и неперпендикулярности плоскостей



мм

Метод обработки	Точность обработки на длине 100 мм					
	экономическая	возможная	экономическая	возможная	экономическая	возможная
	неплоскостность		непараллельность		неперпендикулярность	
Строгание на поперечно-строгальном станке	0,3	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05
Строгание на продольно-строгальном станке	0,05	0,02	0,01	0,02	0,1	0,05
	на длине 300 мм		на длине 1000 мм			
Долбление	0,3	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05

Метод обработки		Точность обработки на длине 100 мм					
		экономическая	возможная	экономическая	возможная	экономическая	возможная
		неплоскостность		непараллельность		неперпендикулярность	
Фрезерование цилиндрической фрезой		0,3	0,08	0,1	0,03	0,1	—
Фрезерование торцевой фрезой		0,05	0,03	0,1	0,03	0,1	0,05
Подрезание на токарном или карусельном станках		0,05	0,02	—	—	—	—
Шлифование плоскостей на продольно-шлифовальном станке	поперек подачи	0,1	0,05	0,1	0,03	0,05	—
	вдоль подачи	0,05	0,02	0,03	0,01	—	—
Шлифование плоскостей торцом круга		0,03	0,01	0,01	0,003	—	—
Шлифование торцов окружностью круга		0,03	0,01	0,05	0,01	—	—
Шабрение		—	—	—	0,01	0,02	0,02
Протягивание		0,005	—	—	—	—	—

Примечание. Данные таблицы применимы в том случае, когда одна из плоскостей лежит непосредственно на столе станка. При установке детали на подкладки, клинья, домкраты отклонения зависят от точности установки.

Отклонения от правильной геометрической формы цилиндрических поверхностей

Отклонениями от правильной геометрической формы в плоскости, перпендикулярной к оси детали, являются овальность и огранка.

Овальность — разность между наибольшим и наименьшим диаметрами, измеренными в одном и том же сечении (рис. VI.1.39).

Огранка — отклонение от цилиндрической поверхности, когда контур сечения ограничен рядом сопряженных дуг (рис. VI.1.40). Огранка обычно встречается при бесцентровом шлифовании.

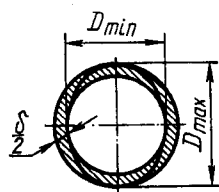


Рис. VI.1.39. Овальность.

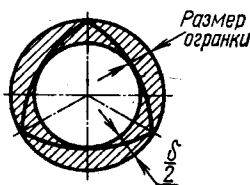


Рис. VI.1.40. Огранка.

Отклонениями от правильной геометрической формы в плоскости, параллельной оси детали, являются бочкообразность, седлообразность, изогнутость и конусообразность.

Бочкообразность — непрямолинейность образующих, при которой диаметры увеличиваются от краев к середине $D-d$ (рис. VI.1.41).

Седлообразность — непрямолинейность образующих, при которых диаметры увеличиваются от середины к краям (рис. VI.1.42).

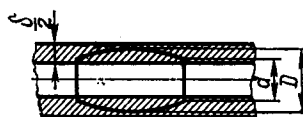


Рис. VI.1.41. Бочкообразность.



Рис. VI.1.42. Седлообразность.

Изогнутость — отклонение оси от прямолинейности (рис. VI.1.43).

Конусообразность — отклонение от параллельности на какой-либо длине образующей цилиндрической поверхности (рис. VI.1.44). Конусообразность измеряется разностью диаметров $D-d$ на заданной длине L .

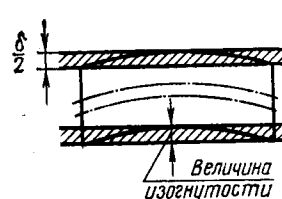


Рис. VI.1.43. Изогнутость.

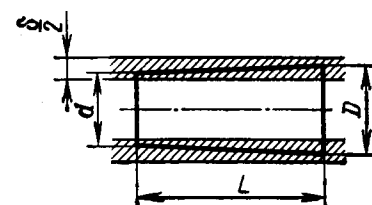


Рис. VI.1.44. Конусообразность.

Экономически достигаемые отклонения по овальности, конусообразности и вогнутости в зависимости от применяемого оборудования приведены в табл. VI.1.10. В табл. VI.1.11 даны экономически достигаемые отклонения наружных цилиндрических поверхностей от соосности в зависимости от установки детали на токарных и шлифовальных станках. Отклонения от соосности, перпендикулярность и перекося двух отверстий, непараллельность и перпендикулярность отверстия к плоскости, перпендикулярность двух отверстий и точность изготовления отверстий в стержне в зависимости от метода обработки приведены в табл. VI.1.12—VI.1.17.

Таблица VI.1.10

Экономически достигаемые минимальные отклонения тел вращения от правильной геометрической формы

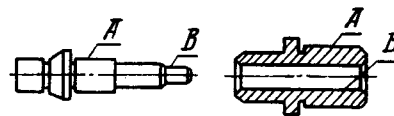
мм

Наименование оборудования	Диаметр заготовки	Экономическая точность обработки		
		овальность	конусообразность* на длине 300 мм	вогнутость при обработке плоскости на диаметре 300 мм
Токарные станки	До 800 Св. 800	0,03 0,05	— 0,08	— 0,05
Токарные многорезцовые полуавтоматы	—	0,05	—	0,08
Токарные многорезцовые станки	До 300 Св. 300	0,03 0,05	— 0,08	— 0,05
Одношпиндельные револьверные автоматы	До 20 Св. 20	— 0,03	— 0,03	— —
Многошпиндельные автоматы	До 65 Св. 65	— 0,03	— 0,06*	— —
Револьверные станки	До 90 Св. 90	0,03 0,05	0,06 0,08	— 0,05
Карусельные одностоечные и двустоечные станки**	До 500 От 500 до 1000	0,03 0,05	0,08 0,1	0,12 0,1
Вертикальные одношпиндельные алмазносточные станки	—	0,008	0,02	—
Круглошлифовальные универсально-шлифовальные станки	—	0,01	0,01	—
Внутришлифовальные станки	—	0,01	0,02	0,03

* Конусообразность на длине 1,2 D.

** При обработке резцом, закрепленным в верхнем или боковом суппорте.

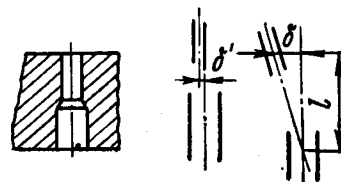
Таблица VI.1.11
Экономически достигаемые минимальные отклонения цилиндрических поверхностей от соосности (эксцентриситет)



мм

Обтачивание и шлифование	Отклонения от соосности (эксцентриситет) поверхностей A и B
В центрах с одного установка	0,015
С двух установов с центром в шпинделе, шлифованном на месте	0,015
С двух установов с центром в шпинделе	0,05
На оправке, обточенной на месте	0,025
На оправке, отдельно изготовленной с центром в шпинделе, шлифованном на месте	0,03
На оправке, отдельно изготовленной, с центром в шпинделе	0,075

Таблица VI.1.12
Точность взаимного расположения осей отверстий

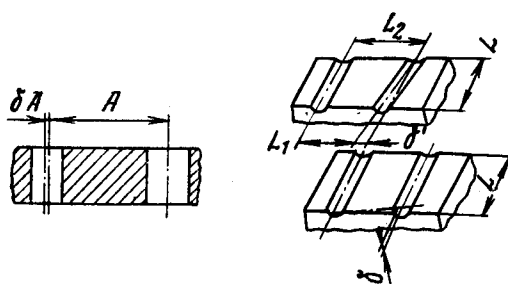


мм

Метод обработки	Точность обработки			
	экономическая		возможная	
	смещение δ'	перекос δ на длине 100 мм	смещение δ'	перекос δ на длине 100 мм
Сверление по разметке (с двумя сверлами)	1,0	0,5	0,3	0,2
Сверление по кондуктору	0,2	0,1	0,1	0,1
Развертывание спецразверткой в кондукторе	В пределах точности измерений		—	
Растачивание на токарном станке с одного установка	В пределах точности измерений. Совпадение полное		—	
Растачивание с двух установов в сырых кулачках, на оправке, на сырой планшайбе	0,05	0,08	0,02	0,03
То же в самоцентрирующем патроне без дополнительной установки	1,0	1,0	—	—
То же при установке по индикатору	0,1	0,2	0,03	0,03
То же при установке по разметке (мелку или иголке)	2,0	2,0	0,5	0,5

Таблица VI.1.13

Непараллельность и перекос осей отверстий с параллельными осями

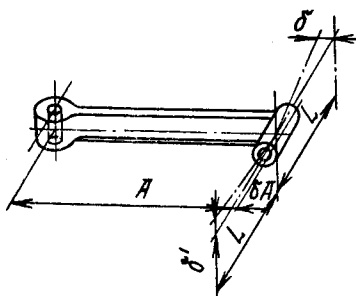


мм

Метод обработки		Диаметр сверла	Точность обработки				
			экономическая		возможная		
			δA	непарал- лельность L_2 и L_1 и перекос δ' при длине 100 мм	δA	непарал- лельность L_2 и L_1 и перекос δ' при длине 100 мм	
Сверление по разметке	До 3	$\pm 0,5$	—	$\pm 0,20$	—		
	Св. 3 до 6	$\pm 0,6$	—	$\pm 0,25$	—		
	» 6 » 10	$\pm 0,8$	—	$\pm 0,30$	—		
	» 10 » 18	$\pm 1,0$	0,5	$\pm 0,35$	0,3		
	» 18 » 30	$\mp 1,2$	—	$\pm 0,40$	—		
	» 30 » 50	$\pm 1,6$	—	$\pm 0,45$	—		
	Св. 50	$\pm 2,0$	—	$-0,50$	—		
Сверление и развертывание по кондуктору	До 3	0,05	—	0,05	—		
	Св. 3 до 6	0,06	—	0,06	—		
	» 6 » 10	0,07	—	0,07	—		
	» 10 » 18	0,08	0,1	0,08	0,1		
	» 18 » 30	0,09	—	0,09	—		
	» 30 » 50	0,10	—	0,10	—		
		0,12	—	0,12	—		
Растачивание на токарном станке на угольнике		Независимо от диаметра	0,03	0,05	0,01	0,02	
Раста- чивание на раст- очном станке	Установка по разметке		1,0		1,0		
	Установка по штанген- циркулю		A	До 300 мм	0,05	0,05	0,02
				Св. 300 до 600 мм		0,1	
				Св. 600 до 1000 мм		0,5	
	Установка по концевым мерам при A до 300 мм		0,03		0,03		
Сверление отверстий во фланцах на фрезерном станке с делительной головкой			0,5	0,5	0,3	0,3	
Растачивание отверстий во фланцах на фрезерном станке с делительной головкой			0,2	0,05	0,1	0,02	
Планетарное шлифование			0,1	0,03	0,05	0,01	

Таблица VI.1.14

Точность расположения отверстий при изготовлении их с перпендикулярными осями



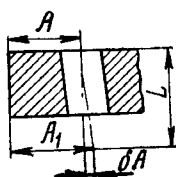
мм

Метод обработки	Точность обработки					
	экономическая	возможная	экономическая	возможная	экономическая	возможная
	неперпендикулярность оси отверстия к базовой поверхности на длине 100 мм		нескрещивание осей δ'		отклонение δA расстояния между осями	
Сверление по разметке	1,0	0,5	2,0	0,5	2,0	0,5
Сверление на угольнике по разметке	0,5	0,3	2,0	0,5	2,0	0,5
Сверление по кондуктору	0,1	—	0,5	—	0,5	—
Растачивание на токарном станке на угольнике	0,1	—	2,0	0,2	2,0	0,2
Сверление на фрезерном станке, на поворотном столе с лимбом	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3
Растачивание на фрезерном станке, на поворотном столе с лимбом	0,05	0,02	0,2	0,1	0,2	0,1
Растачивание на расточном станке	0,02	0,02	0,1	0,1	0,3	0,1
Сверление на фрезерном станке с делительной головкой	0,8	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3
Растачивание на фрезерном станке с делительной головкой	0,1	0,05	0,5	0,3	0,5	0,3

Таблица VI.1.15

Продолжение табл. VI.1.15

Точность расположения отверстий при изготовлении их параллельно плоскости

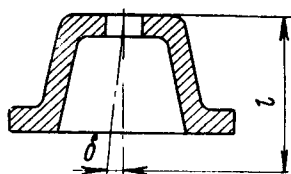


Метод обработки	Диаметр отверстий	Точность обработки			
		экономическая	возможная	экономическая	возможная
		непараллельность A_1-A на длине 100 мм		отклонение δA расстояния до плоскости	
Сверление по разметке	До 3	0,5	0,3	$\pm 0,5$	$\pm 0,20$
	Св. 3 до 6			$\pm 0,6$	$\pm 0,25$
	» 6 » 10			$\pm 0,8$	$\pm 0,30$
	» 10 » 18			$\pm 1,0$	$\pm 0,35$
	» 18 » 30			$\pm 1,2$	$\pm 0,40$
	» 30 » 50			$\pm 1,6$	$\pm 0,45$
	Св. 50			$\pm 2,0$	$\pm 0,50$

Метод обработки	Диаметр отверстий	Точность обработки			
		экономическая	возможная	экономическая	возможная
		непараллельность A_1-A на длине 100 мм		отклонение δA расстояния до плоскости	
Сверление по кондуктору	До 3	0,1		0,05	0,06
	Св. 3 до 6			0,06	0,07
	» 6 » 10			0,07	0,08
	» 10 » 18			0,08	0,09
	» 18 » 30			0,09	0,10
	» 30 » 50			0,10	0,12
	Св. 50			0,12	
Растачивание на токарном станке при установке по разметке	—	1,0	0,5	2,0	1,0
Растачивание на токарном станке при установке на угольниках	—	0,05	0,02	0,3	0,1
Растачивание на расточном или фрезерном станке	—	0,05	0,02	0,3	0,1

Таблица VI.1.16

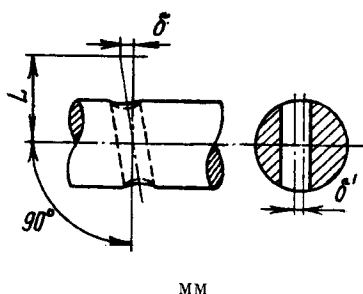
Точность расположения отверстий при изготовлении их перпендикулярно к плоской поверхности



Метод обработки	Точность обработки	
	экономическая	возможная
	неперпендикулярность оси отверстия к базовой поверхности на длине 100 мм ($\delta : L$)	
Сверление по разметке	0,5	0,3
Сверление по кондуктору	0,1	—
Растачивание на токарном станке:		
при установке по разметке	1,0	0,5
при установке по индикатору	0,5	0,02
при одновременном растачивании отверстия и подрезке торца с одного установка	В пределах точности измерения	
Растачивание на вертикально-фрезерном станке при установке на столе станка	0,05	0,02
Растачивание на горизонтально-фрезерных и расточных станках при установке детали на угольниках	0,08	0,03
Планетарное шлифование при установке детали на приспособлении	0,08	0,03

Таблица VI.1.17

Точность изготовления отверстий в стержне



Метод обработки	Точность обработки			
	экономическая	возможная	экономическая	возможная
	неперпендикулярность δ оси отверстия к базовой поверхности на длине 100 мм ($\delta : L$)		смещение оси отверстия от центра стержня δ'	
Сверление по разметке	0,5	0,3	2,0	1,0
Растачивание по разметке	1,0	0,2	2,0	0,5

Продолжение табл. VI.1.17

Метод обработки	Точность обработки			
	экономическая	возможная	экономическая	возможная
	неперпендикулярность δ оси отверстия к базовой поверхности на длине 100 мм ($\delta : L$)		смещение оси отверстия от центра стержня δ'	
Сверление по кондуктору	0,1	—	Диаметр сверла: До 10 $\pm 0,2$ Св. 10 $\pm 0,5$ До 30 $\pm 0,8$	—
Растачивание при установке по индикатору	0,1	0,05	1,0	0,03

Предельные отклонения формы цилиндрической поверхности и профиля продольного сечения (овальность, огранка, конусообразность, бочкообразность, изогнутость и др.), если они не установлены в чертежах, ограничиваются полем допуска на размер диаметра. Предельные отклонения взаимного расположения поверхностей и осей, если они не установлены в чертежах или ТУ, принимаются по отраслевой нормали 722АТ.

Шероховатость поверхности

Классы шероховатости поверхности определяются по ГОСТ 2789—73 и 2.309—73.

Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности в рассматриваемых пределах участка, длина которого выбирается в зависимости от характера поверхности и равна базовой длине l (рис. VI.1.45).

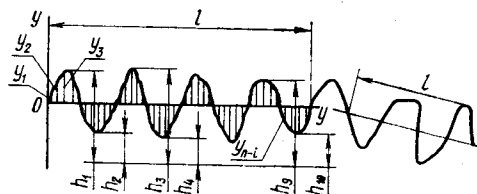


Рис. VI.1.45. Простановка шероховатости поверхности.

Шероховатость поверхности определяется средним арифметическим отклонением Ra и высотой неровностей Rz .

Средним арифметическим отклонением профиля Ra называется среднее значение расстояний y_1, y_2, \dots, y_n точек измеренного профиля до его средней линии. Приближенно

$$Ra = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i)}{n}$$

Высота неровностей Rz — среднее значение между пятью высшими точками выступов и пятью низшими точками впадин, находящихся в пределах базовой линии, измеренное от линии, параллельной средней линии

$$Rz = \frac{(h_1 + h_3 + \dots + h_9) - (h_2 + h_4 + \dots + h_{10})}{5}$$

Шероховатость обозначается знаком ∇ , над которым ставится цифра, обозначающая допустимую высоту неровностей в микронах (например, $Rz \nabla^{320}$).

Установлено 14 классов шероховатости поверхности, для которых максимальные числовые значения шероховатости Ra и Rz приведены в табл. VI.1.18.

Знак ∇ , применяемый для обозначения поверхностей с шероховатостью, превышающей 320 мкм, ставится на поверхности и имеет те же значения, что и знаки класса шероховатости. Знак ∇° ставится на необрабатываемые поверхности.

Учитывая, что требования к качеству поверхности, надежности и долговечности повышаются, в чертежах вновь разрабатываемых изделий с 1 января 1981 г. предусмотрен один из вы-

Таблица VI.1.18

Класс шероховатости поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля Ra (не более), мкм	Высота неровностей Rz (не более), мкм	Базовая длина, мм
1	—	320	8
2	—	160	
3	—	80	
4	—	40	2,5
5	—	20	
6	2,5	—	
7	1,25	—	0,8
8	0,63	—	
9	0,32	—	
10	0,16	—	0,25
11	0,08	—	
12	0,04	—	
13	—	0,1	0,08
14	—	0,05	

Таблица VI.1.19

Класс шероховатости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Значения Ra (средние), мкм	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,80	0,40	0,20	0,10	0,05	0,025	0,012	0,008
Значения Rz и R_{max} (большие), мкм	320	160	80	40	20	10	6,3	3,2	1,60	0,80	0,40	0,20	0,10	0,05

Таблица VI.1.20

Классы шероховатости поверхности при различных видах обработки

Метод обработки		Среднее значение Ra , мкм													
		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,012	0,008
Строгание	черновое	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	чистовое	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	финишное	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Фрезерование	черновое	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	чистовое	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	финишное	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Точение	черновое	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	чистовое	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	финишное	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	алмазное	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Зенкерование		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сверление		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Метод обработки		Среднее значение Ra , мкм																
		50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,012	0,008			
Растачивание	черновое																	
	чистовое																	
	финишное																	
	алмазное																	
Протягивание	черновое																	
	чистовое																	
Развертывание	предварительное																	
	окончательное																	
Шлифование	черновое																	
	чистовое																	
	финишное																	
Полирование	черновое																	
	чистовое																	
	отделочное																	
Доводка	черновая																	
	чистовая																	
	финишная																	
Хонингование	чистовое																	
	финишное																	
Суперфиниширование	чистое																	
	финишное																	
Зубофрезерование (копирование)	черновое																	
	чистовое																	
Зубофрезерование (обкатка)	черновое																	
	чистовое																	
Зубодолбление (копирование)	черновое																	
	чистовое																	
Зубодолбление (обкатка)	черновое																	
	чистовое																	
Зубошвингование	чистовое																	
	финишное																	
Зубошлифование (копирование)	чистовое																	
	финишное																	
Зубошлифование (обкатка)	чистовое																	
	финишное																	
Зубопритирка																		
Классы шероховатости по ГОСТ 2789—73		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
Параметры шероховатости		Rz					Ra							Rz				
Значение шероховатости, мкм (от и до)		320	160	80	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0,005

сотных параметров Ra , Rz и R_{\max} . Параметр Ra является предпочтительным. Числовые значения параметров Ra , Rz и R_{\max} выбираются из табл. VI.1.19.

В табл. VI.1.20 приведены классы шероховатости поверхности, получаемые в зависимости от вида обработки при достаточно жесткой системе СПИД.

Значения классов шероховатости поверхности для различных классов точности и посадок, а также в зависимости от конструктивного назначения детали даны в табл. VI.1.21 и VI.1.22.

Таблица VI.1.21

Назначение классов шероховатости поверхностей

Класс	Шеро- ватость	Вид обработанной поверхности
0 ✓	0 ✓	Поверхности, к которым не предъявляется особых требований. Например, кромки листового материала после обрезки на ножницах или просечки штампом, а также необрабатываемые (черные, но ровные) поверхности отливок, поковок, штампованных заготовок, проката и др.
3	12,5 ✓	Грубообтачиваемые наружные и внутренние поверхности детали перед последующей, другой обработкой
4	6,3 ✓	Свободные, нерабочие поверхности деталей; расточка отверстий облегчения; фаски, выточки, проточки; поверхности обреза профилей, прутков и труб по торцу; отверстия для неподвижных соединений, выполненные по 4-му классу точности и свободным размерам (например, отверстия под установку фитингов и кронштейнов на каркасе); плоские опорные поверхности кронштейнов; плоскости фланцев, соприкасающиеся с уплотнительными резиновыми прокладками. Класс шероховатости поверхности после сверления в деталях толщиной 2 мм и менее в чертежах не указывается
5	3,2 ✓	Поверхности деталей подвижных соединений, выполняемые по 4-му классу точности и свободным размерам; плоские стыковые поверхности и поверхности таких деталей, как ушки, крестовины, угольники, вильчатые наконечники
6	1,6 ✓	Отверстия для неподвижных соединений; цилиндрические поверхности подвижных и неподвижных соединений, выполняемых по 3-му классу точности; канавки под уплотнители и детали с фасонной расточкой; цекованные и зенкованные рабочие поверхности; а также рабочие поверхности зубьев и зубчатых колес и шлицы, выполняемые фрезерованием; нарезанные прямоугольные и трапециевидные резьбы.

Класс	Шеро- ватость	Вид обработанной поверхности
7	0,80 ✓	Отверстия для подвижных соединений, выполняемых по 2—3-му классам точности, и неподвижных соединений — по 2-му классу точности; болты, выполняемые по 3-му классу точности; поверхности, обрабатываемые скоростным точением и фрезерованием, и рабочие поверхности зубьев и зубчатых колес, обрабатываемые на зубострогальных станках; шлифованные торцевые и плоские поверхности деталей, а также отверстия в деталях под запрессовку шарико- и роликоподшипников. Класс шероховатости обработки разрезываемых отверстий в деталях толщиной 2 мм и менее в чертежах не указывается
8	0,40 ✓	Отверстия для подвижных соединений, выполняемых по 2-му классу точности; рабочие поверхности резб специального назначения; валы и болты 2-го класса точности, а также шаровые шарниры. Алмазное точение деталей из цветных металлов
9	0,20 ✓	Рабочие поверхности деталей гидравлической системы, которые должны обеспечивать гидравлическую или пневматическую непроницаемость и правильность срабатывания поверхностей скольжения в кинематических механизмах; отверстия и валы для подвижных соединений, выполняемых по 1—2-му классам точности. Тонкое алмазное точение деталей из цветных металлов. Поверхности деталей, подвергаемые последующему декоративному хромированию и никелированию
10	0,10 ✓	Рабочие поверхности деталей гидравлической системы, к которым предъявляются особые требования: поверхности скольжения цилиндрических золотниковых пар для гидравлических и пневматических систем (при работе металла по металлу); плоские поверхности скольжения распределительных устройств, дисковые золотники, распределительные дисковые краны и т. п. для систем гидравлики и пневматики (при давлении воздуха 6 кгс/см ² и выше); поверхности скольжения, работающие с резиновыми уплотнителями, к которым предъявляются требования высокой износоустойчивости. Например, штоки гидроагрегатов с количеством рабочих циклов более 1000; штоки и уплотнения деталей, имеющих рабочую скорость свыше 3 м/с; детали с резиновыми уплотнителями, работающие при давлении, равном или большем 100 кгс/см ² , а также поверхности деталей, подлежащие твердому хромированию

Примечание. При назначении шероховатости обрабатываемой поверхности учитываются не только зависимости от точности, посадки и назначения детали, но и другие факторы: выносливость детали, вид покрытия, трение в узлах механизма и т. д.

Таблица VI.1.22

Значения классов шероховатости поверхности (по ГОСТ 2789—73) для основных классов точности и посадок

Класс точности		Условные обозначения посадки	Диаметры, мм										
			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 16	св. 16 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 160	св. 160 до 260	св. 260 до 360
2-й	A	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6
	Pr	9	9	9	8	8							
	G	9	9	9	8	8							
	T												
	H												
	P												
	C	9	9	8	8	8	8	8	7	7	7	6	6
	D	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6
	X												
3-й	A ₃	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	5	5
	Pr ₁₃								6	6	5	4	4
	C ₃												
	X ₃												
4-й	A ₄	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4	4
	C ₄				5								
	X ₄			5	5	5	5	4	4	4	3	3	3
	L ₄												
5-й	A ₅	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3
	C ₅												
	X ₅												

Глава 2. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ

Требования, предъявляемые к основным элементам конструкции деталей, относятся ко всем деталям, независимо от их типа.

Основными элементами конструкции деталей являются открытые и сопрягаемые плоскости (колодцы, карманы, пазы, гнезда, выступы) наружные и внутренние (отверстия) поверхности вращения, резьбы, фасонные поверхности, фаски и галтели.

ОТКРЫТЫЕ ПЛОСКОСТИ

При конструировании деталей рекомендуется руководствоваться следующими технологическими требованиями:

1. Необходима жесткость деталей — это общее требование для всех деталей, обрабатываемых резанием. Если деталь деформируется при закреплении или вибрирует в процессе обработки (под влиянием сил резания), то получить точные размеры и требуемую шероховатость обрабатываемой поверхности затруднительно.

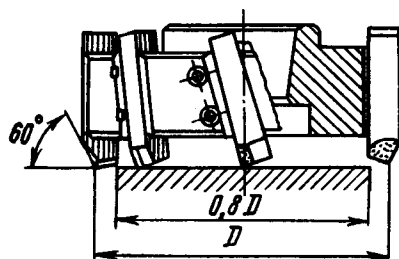
2. Ширина обрабатываемых плоских поверхностей должна соответствовать размерам нормальных фрез. Размеры нормальных цилиндрических и торцевых фрез приведены в табл. VI.2.1 и VI.2.2.

Ширина B обрабатываемой плоскости должна быть равна $0,8 D$ фрезы при торцевом фрезеровании (рис. VI.2.1, а) и на 3—5 мм меньше длины

фрезы при цилиндрическом фрезеровании (рис. VI.2.1, б). При фрезеровании концевыми фрезами ширину обработки желательно уменьшить из-за консольного вылета фрезы. Максимальная

Таблица VI.2.1

Диаметры торцевых фрез для обработки поверхностей

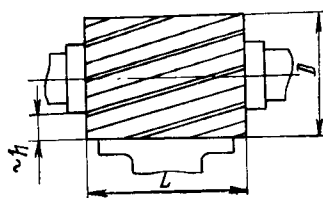


мм

D	40	50	80	100	125	160	200	224	250	275	315
---	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

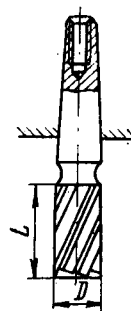
Таблица VI.2.2

Длина и диаметр цилиндрических фрез для обработки плоскостей



мм

L	D									
	40	50	63	80	100	125	160	200	250	
h										
50	7	7								
63	7	7	11							
80		7	11	16	21					
100			11	16	21	28	40			
125				16	21	28	40			
160					21	28	40			
200						28	40			
250						28	40	66	85	
300						28	40	66	85	

Таблица VI.2.3
Длины и диаметры концевых фрез


Длина режущей части

мм

Диаметр фрезы D	Фрезы концевые для обработки алюминиевых и магниевых сплавов	Фрезы концевые из быстрорежущей стали	Фрезы концевые с твердым сплавом
10	20; 40		18
(12)	25; 50		18
14	32; 55	32; 55	18
16	36; 60	36; 60	18
18	36; 70	36; 70	25
20	44; 70	44; 70	25
22	44; 70	44; 70	25
(24)	50; 80		45
25	50; 80	80	45
28	50; 80	50; 80	40
(30)	50; 80		40
32	55; 80	55; 80	40
36	60; 100	60; 100	40
40	65; 110	65; 110	55
50	70; 125	70; 125	55

Примечание. Значения диаметров фрез, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

ширина должна быть на 6—10 мм меньше длины режущей части фрезы (рис. VI.2.1, в). Параметры нормальных концевых фрез приведены в табл. VI.2.3.

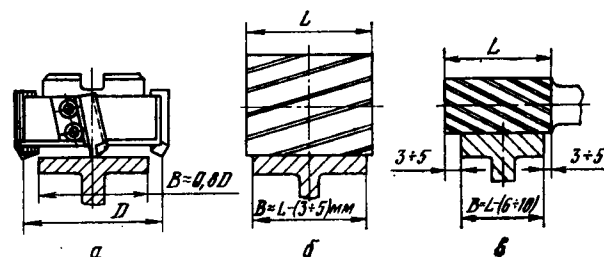


Рис. VI.2.1. Ширина фрезерования.

Для задания формы переходной поверхности (выхода фрезы) руководствоваться размерами нормальных фрез (рис. VI.2.2).

3. Размеры плоскостей, обрабатываемых резанием (в особенности точных), должны быть минимальными.

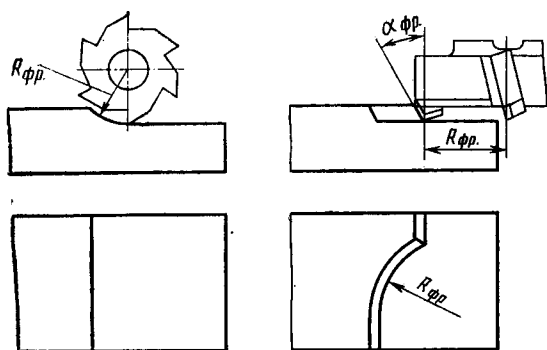


Рис. VI.2.2. Формы и размеры переходных поверхностей.

Поверхности, к которым предъявляются высокие требования в отношении точности и шероховатости, подвергаются шлифованию, шабрению и притиранию и обозначаются на чертеже соответствующими знаками классов точности и шероховатости.

Детали со значительными размерами шлифуемой поверхности являются нетехнологичными, так как при обработке таких деталей происходит интенсивный износ шлифовальных кругов и соответственно снижаются точность и класс шероховатости обрабатываемой поверхности. Для увеличения стойкости шлифовальных кругов и снижения трудоемкости изготовления деталей обрабатываемые плоские поверхности следует выполнять в виде контурных полос по периметру деталей, оставляя в средней части деталей углубленную необрабатываемую поверхность (рис. VI.2.3).

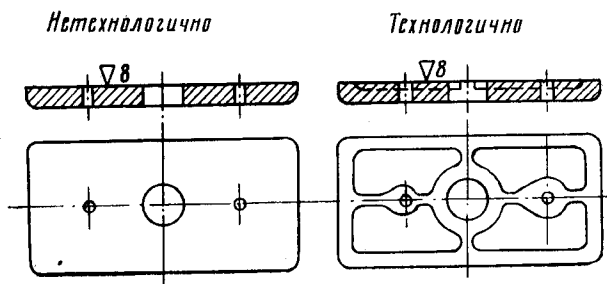


Рис. VI.2.3.

4. Обрабатываемые плоские поверхности должны быть четко отделены от черных (необрабатываемых) поверхностей или обработанных, но лежащих в других плоскостях. Следует также отделять поверхности, лежащие в одной плоскости, но обрабатываемые разным инструментом. Для плавного сопряжения этих поверхностей требуется трудоемкая ручная подгонка (рис. VI.2.4 и VI.2.5).

5. Высота выступающих обрабатываемых площадок (платиков и бобышек) должна быть больше допуска на штамповку у прилегающей необрабатываемой плоскости (рис. VI.2.6). При малой высоте выступающих элементов их плоскости штампуются или отливаются заподлицо с необрабатываемой плоскостью. В этом случае требуется обра-

ботка плоскости, не предусмотренная чертежом, и остаются переходные поверхности от инструмента, которые также не предусмотрены.

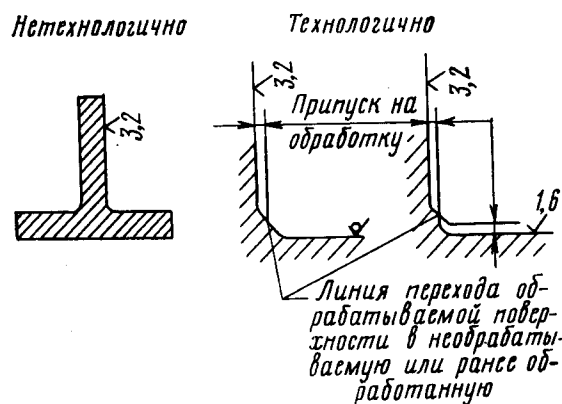


Рис. VI.2.4.

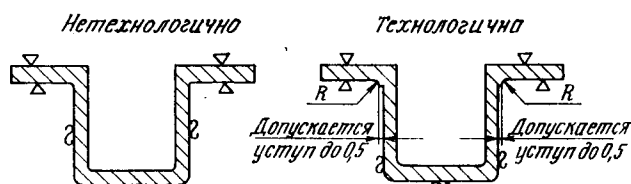


Рис. VI.2.5.

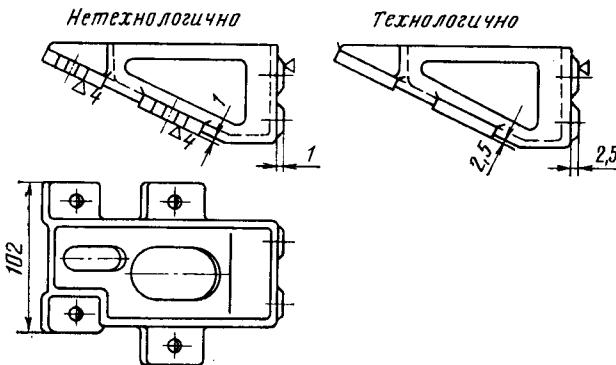


Рис. VI.2.6. Размерность на высоту обработанных поверхностей бобышек.

Для устранения ручных работ и повышения технологичности детали необходимо предусматривать уступы (см. рис. VI.2.5), отделяющие обработанную поверхность от необработанной.

6. Обрабатываемые плоские поверхности должны быть расположены на одном уровне и быть взаимно параллельны или взаимно перпендикулярны.

На металлорежущих станках (фрезерных, строгальных, плоскошлифовальных и т. п.), предназначенных для обработки плоскостей, наиболее удобно обрабатывать поверхности, расположенные параллельно или перпендикулярно поверхности стола станка, что позволяет применять приспособления более простой конструкции. Поверхности, находящиеся на одной стороне детали, располагать на

одном уровне, то есть в одной плоскости, что даст возможность обрабатывать их за один установ, а часто и за один проход.

На рис. VI.2.7 приведен пример повышения технологичности конструкции детали путем внесения небольших изменений.

7. Узкие и длинные поверхности (ребра) должны допускать обработку в продольном направлении. На рис. VI.2.8, слева показана деталь, участок А которой можно обрабатывать только в поперечном направлении. При фрезеровании узких и высоких ребер в поперечном направлении ввиду недостаточной жесткости изделия появляются вибрации, уменьшающие класс шероховатости обрабатываемой поверхности и вызывающие сильный производственный шум, что вынуждает снижать режимы обработки. В этом случае следует стремиться к изменению конструкции детали, чтобы обработка ребер могла производиться в продольном направлении (рис. VI.2.8, справа).

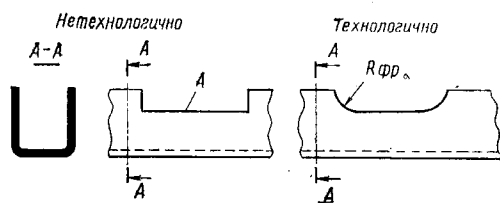


Рис. VI.2.8.

8. Обрабатываемые обнижения должны быть открытыми для свободного выхода режущего инструмента, располагать их следует на одной высоте, что позволит обрабатывать детали по настроенному процессу и улучшит условия замера детали (рис. VI.2.9).

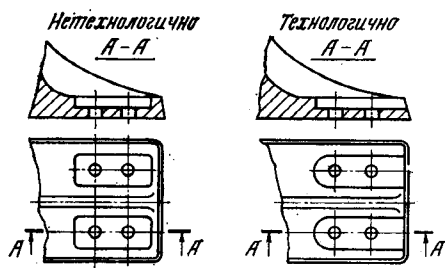


Рис. VI.2.9.

9. Избегать по возможности механической обработки плоскостей деталей, упрощая их конструкции путем членения на более простые детали с применением сварных и других соединений. На рис. VI.2.10 показан замок, конструктивное изменение которого сваркой из двух деталей значительно упрощает и удешевляет его изготовление.

10. Шероховатость поверхностей при механической обработке элементов детали зависит от жесткости системы СПИД, поэтому в тонкостенных деталях, где жесткость слишком мала, получение высокого класса шероховатости возможно только при очень большом увеличении трудоемкости, а в некоторых случаях, особенно в деталях, имеющих переходные радиусы, совершенно невозможно (рис. VI.2.11). Высокие классы шероховатости при этом достигаются чрезвычайно трудоемкой доводкой.

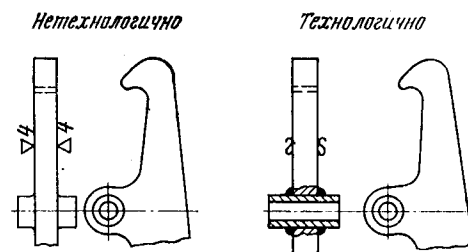


Рис. VI.2.10.

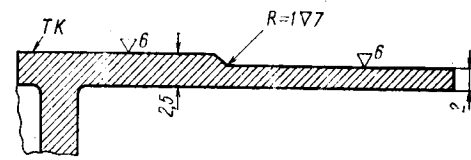


Рис. VI.2.11.

11. Точность и классы шероховатости обработки, а также отклонения формы и расположения открытых плоскостей в зависимости от назначения и методов обработки даны в табл. VI.1.3, 9, 18÷21.

СОПРЯГАЕМЫЕ ПЛОСКОСТИ (КОЛОДЦЫ, КАРМАНЫ, ПАЗЫ, ГНЕЗДА, ВЫСТУПЫ)

Для повышения технологичности колодцев, карманов, пазов, гнезд, выступов и других элементов деталей с сопрягаемыми плоскостями рекомендуется руководствоваться следующими технологическими требованиями:

1. Размеры элементов с сопрягаемыми плоскостями должны быть увязаны с размерами нормальных концевых фрез. Для этого при конструировании необходимо учитывать:

— наибольшая глубина элементов (колодцев, карманов, пазов, гнезд) должна быть на 4—5 мм меньше режущей части фрезы (рис. VI.2.12). В деталях из конструкционных сталей глубину элементов рекомендуется предусматривать не более $1,5 D_{фр}$, а в деталях из нержавеющей сталей и титановых сплавов — не более $D_{фр}$;

— радиус у дна элемента должен быть равен радиусу фрезы у торца, который не должен превышать значений, указанных в табл. VI.2.4. Желательно переходные радиусы у дна элемента (рис. VI.2.4, а) заменить фасками (рис. VI.2.4, б), особенно это важно при работе фрез, оснащенных твердым сплавом;

— радиус сопряжения боковых сторон $R = D_{фр}/2$ следует назначать из расчета, чтобы обработка проводилась за минимальное количество проходов.

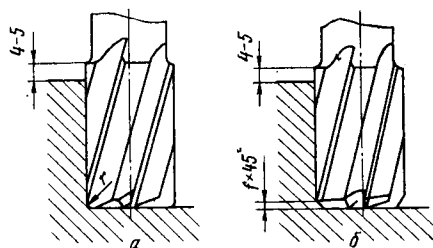


Рис. VI.2.12. Наибольшая глубина колодцев, карманов, пазов, гнезд в зависимости от размеров режущей части фрез.

Колодец, который обрабатывается за три прохода, при увеличении радиуса сопряжения боковых поверхностей обрабатывается за два прохода (рис. VI.2.13). Радиусы закругления и глубина фрезерования в соответствии с размерами нормальных концевых фрез из быстрорежущей стали и твердого сплава приведены в табл. VI.2.4 и VI.2.5.

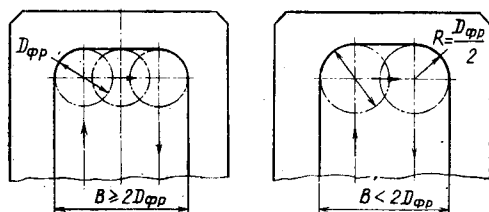


Рис. VI.2.13. Колодцы, обрабатываемые в два и три перехода.

2. Конструкция пазов и прорезей малой ширины должна предусматривать обработку их дисковыми фрезами (рис. VI.2.14). Обработка узких пазов и прорезей более производительна дисковыми фрезами, чем концевыми.

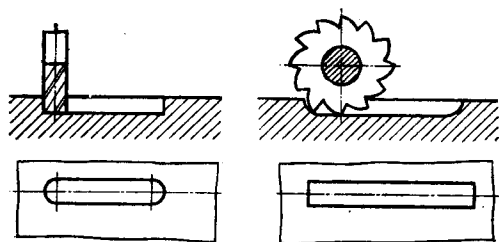


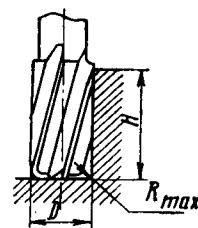
Рис. VI.2.14. Конструкции пазов и прорезей малой ширины.

3. Открытые пазы, а также ушки, обрабатываемые дисковыми фрезами, должны быть согласованы с размерами нормальных дисковых фрез. В табл. VI.2.6 и VI.2.7 приведены значения наибольшей глубины фрезерования обрабатываемых пазов в зависимости от их ширины и размеров нормальных и радиусных дисковых фрез.

4. Форма переходных поверхностей паза зависит от требуемой точности, шероховатости поверхности и материала детали. Показанные на рис. VI.2.15 формы переходной поверхности паза могут быть изготовлены дисковыми фрезами, оснащенными

Таблица VI.2.4

Радиусы закруглений и ширина фрезерования в соответствии с размерами нормальных концевых фрез



D	мм				
	R				
	0,5—3	0,5—4	0,5—5	0,5—6	0,5—10
H_max					
14	25				
16		30			
18		30			
20			35		
22				35	
25				40	
28				40	
32					40
36					45
40					50
45					60
50					60

Примечание. Значения радиусов закруглений и диаметров фрез см. в ГОСТ 16225—70.

ножами из быстрорежущей стали (а) и из твердого сплава (б), в деталях из цветных и титановых сплавов и стали с $\sigma_b \leq 80$ кгс/мм². В этом случае могут быть получены пазы 4-го класса точности и 5-го класса шероховатости обработанной поверхности.

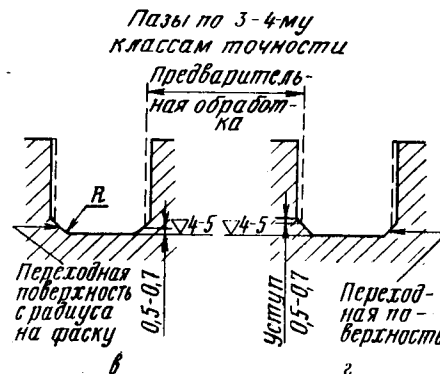
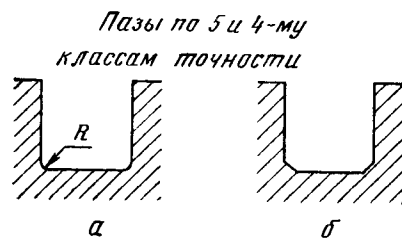
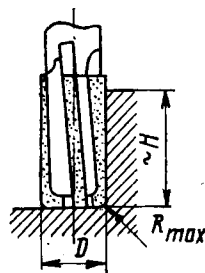


Рис. VI.2.15. Формы переходных поверхностей пазов.

Таблица VI.2.5

Радиусы закруглений и глубина фрезерования
в соответствии с размерами нормальных концевых фрез
с пластинками из твердых сплавов



мм

D	R			
	0,5—2	1—2,5	1—4,0	1—5,0
	H _{max}			
10	12			
12	12			
14	14			
16	14			
18		14		
20		16		
22		16		
24			16	
25			16	
28				20
30				20
32				20
36				24
40				24
50				24

Примечание. Значения радиусов закруглений и диаметров фрез см. в ГОСТ 16225—70.

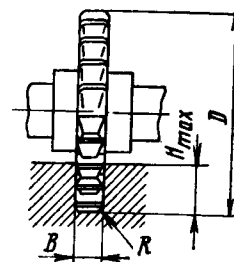
5. Эта же форма переходной поверхности может быть получена и для стальных деталей с $\sigma_B > 80$ кгс/мм² со свободными размерами паза 5-го класса точности и ниже и не выше 5-го класса шероховатости поверхности, так как паз фрезеруется до термической обработки, когда предел прочности заготовки не превышает 80 кгс/мм².

Пазы могут обрабатываться и в термически обработанных деталях из титановых сплавов и стали с σ_B до 120 кгс/мм² (без предварительной обработки до закалки). При этом переходная поверхность паза должна быть выполнена в виде фаски, так как паз фрезеруется дисковой фрезой, оснащенной ножами из твердого сплава. Следует иметь в виду, что заточка радиусных переходов дисковых фрез, особенно оснащенных ножами из твердого сплава, представляет в производстве большую трудность; в работе такие фрезы не стабильны и быстро изнашиваются.

Фрезами, оснащенными твердым сплавом, могут обрабатываться пазы в деталях из стали с $\sigma_B = 180 \div 200$ кгс/мм². Класс шероховатости фрезерованной поверхности термически обработанных деталей из стали может быть получен шестой при достаточной жесткости детали.

Таблица VI.2.6

Глубина и ширина обрабатываемых пазов
в соответствии с размерами нормальных пазовых фрез



мм

R	B	D					
		90	110	130	150	175	200
		H _{max}					
1	3	20					
1	4	20	27				
1	4,5	20	27				
1	5	20	27				
1	5,5	20	27				
1—1,5	6		27	38			
1,5	7			38			
1,5	8			38			
1,5	9			38			
1,5	10				46		
1,5	11				46		
2; 3	12				46	50	
3	13					50	
3	14					50	
3	15					50	
3	16						65
3	18						65
3	20						65

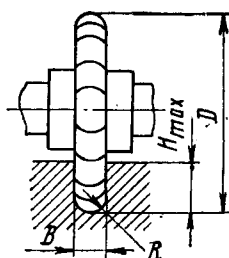
Примечание. Значения радиусов закруглений, ширины и диаметров фрез по отраслевой нормали АН-2341—68.

При обработке пазов в деталях из титановых сплавов и стали с $\sigma_B > 120$ кгс/мм², имеющих классные размеры, необходимо предусматривать переходные поверхности с учетом предварительной обработки паза (см. рис. VI.2.15, в и г). Фрезерованием можно изготовить пазы по 4—5-му классам точности. Более высокий класс точности может быть достигнут при последующем шлифовании или протягивании. Образующиеся при этом формы переходных поверхностей необходимо обозначать на чертеже. В этих случаях следует оговаривать шероховатость доньшка паза не выше 5-го класса, так как при чистовой обработке доньшко не обрабатывается.

6. Размеры рабочих поверхностей Т-образных пазов по возможности уменьшать. Учитывая, что рабочие поверхности Т-образных пазов обрабатываются малопроизводительными фрезами специальной формы, желательно уменьшать размеры окончательно обрабатываемых поверхностей. На

Таблица VI.2.7

Глубина и ширина обрабатываемых пазов в соответствии с размерами нормальных полукруглых фрез из материала P18



мм

R	B	D									
		75	90	110	130	150	175	200	225	250	
		H_{\max}									
1,0	2,0	18									
1,25	2,5	18									
1,5	3,0	18	20	26							
2,0	4,0			26							
2,25	4,5			26							
2,5	5,0			26							
2,75	5,5			26							
3,0	6,0				35						
3,5	7,0				35						
4,0	8,0				35	45					
4,5	9,0				35	45					
5,0	10					45	50				
5,5	11						50				
6,0	12						50				
6,5	13							64			
7,0	14							64			
8,0	16							64			
9,0	18								70		
10	20								70		
11	22								70	80	
12	24								70	80	
13	26								70	80	

Примечание. Значения радиусов закруглений, ширины и диаметров фрез по отраслевой нормали АН-2347—68.

рис. VI.2.16, справа показана конструкция паза, в которой размеры рабочих поверхностей уменьшены путем введения выемки А, образуемой фрезой при предварительном прорезании паза.

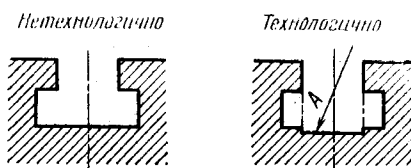


Рис. VI.2.16. Формы Т-образных пазов.

7. Избегать длинных узких пазов. Изготовление таких пазов повышенной точности (выше 5-го клас-

са) и шероховатости поверхности (выше 5-го клас-са) вызывает определенные технологические трудности из-за возникающих вибраций и деформаций детали, то есть из-за недостаточной жесткости системы СПИД. При применении таких пазов учитывать выход инструмента. Обработка пазов производится дисковыми фрезами, доработка основания паза концевой фрезой затруднена, а иногда и невозможна (рис. VI.2.17).

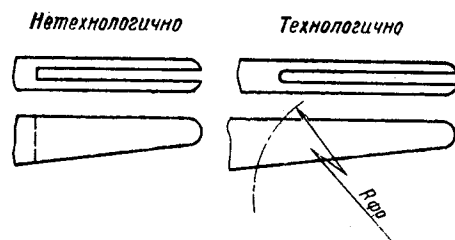


Рис. VI.2.17. Формы длинных и узких пазов.

8. Пазы и гнезда применять открытые, это позволяет производить обработку по настроенному процессу, улучшает шероховатость и точность изготовления (рис. VI.2.18, VI.2.19). При проектировании треугольных шлицев предусматривать выход фрезы (рис. VI.2.20).

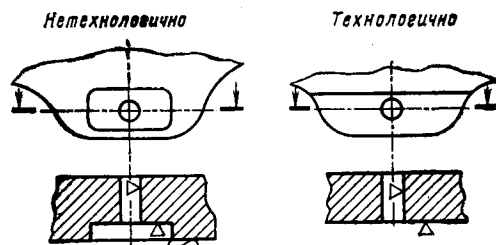


Рис. VI.2.18.

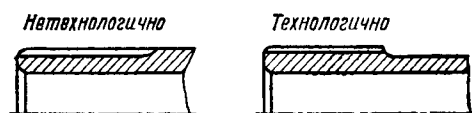


Рис. VI.2.19.

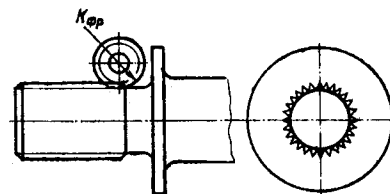


Рис. VI.2.20. Треугольный шлиц.

9. Форму пазов на деталях тел вращения задавать в зависимости от обработки:

— при малых диаметрах и небольшой ширине паза желательно стенки проектировать параллельно друг другу, так как обработка производится за один проход (рис. VI.2.21);

— при больших диаметрах и большой ширине паза стенки паза проектировать радиально, так как обработка производится на поворотном столе (рис. VI.2.22).

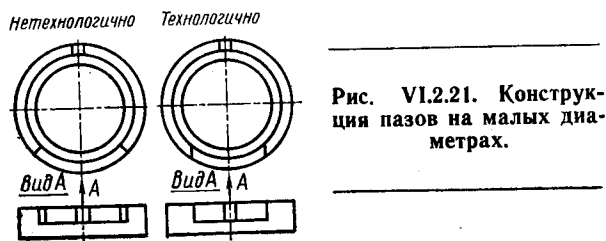


Рис. VI.2.21. Конструкция пазов на малых диаметрах.

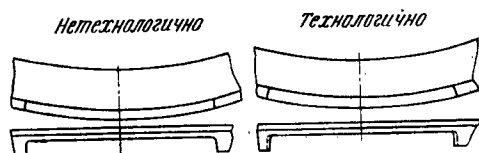


Рис. VI.2.22. Конструкция пазов при больших диаметрах.

10. Радиусы сопряжения контура закрытых гнезд и карманов выполнять одинаковыми и по возможности большими. Обработка при этом производится одним инструментом с большей жесткостью.

11. При сопряжении наклонного ребра с плоскостью основания необходимо в месте сопряжения предусматривать уступ, что исключает слесарную доработку и предохраняет от зарезания плоскости при механической обработке ребра (рис. VI.2.23).

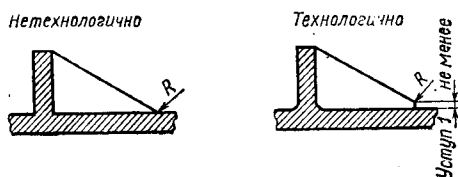


Рис. VI.2.23. Конструкция наклонного ребра.

12. При сопряжении ребра с ребром (или другими элементами детали), образующими угол, рекомендуется в месте сопряжения предусматривать площадку с уступом для подхода инструмента, что исключает слесарную доработку в месте сопряжения (рис. VI.2.24).

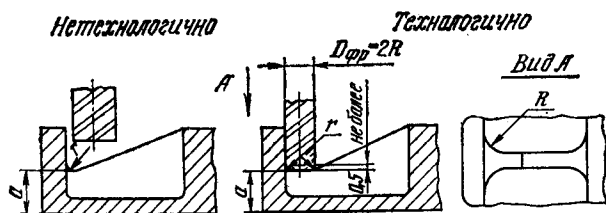


Рис. VI.2.24. Рекомендации по конструкции закрытых ребер.

13. Избегать сопряжения двух наклонных ребер, а при необходимости одно из них делать перпендикулярным к основанию и показывать линию стыка, что исключает слесарную доработку, создает удобство для обработки и улучшает качество (рис. VI.2.25).

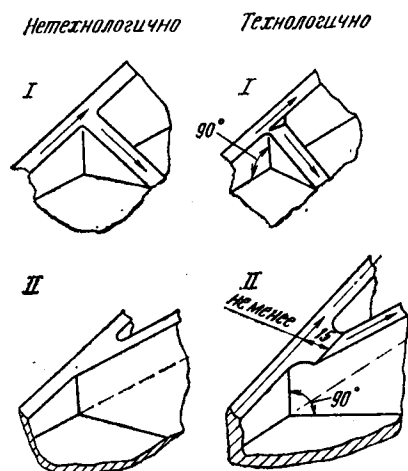


Рис. VI.2.25. Конструкция сопряжения двух наклонных ребер.

14. У деталей (не жестких) с колодцами больших габаритов и с тонкими донышками рекомендуется вводить дополнительные ребра жесткости, что повышает качество детали, уменьшает расходы на оснастку и снижает трудоемкость (рис. VI.2.26).

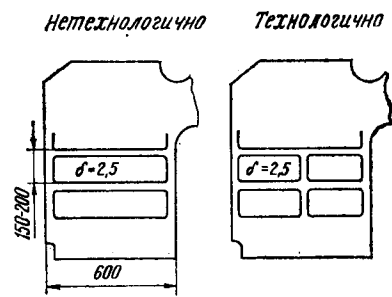


Рис. VI.2.26. Увеличение жесткости конструкции с тонким дном.

15. На наклонных ребрах большой длины рекомендуется предусматривать колодцы без механообработки, что повышает качество деталей, уменьшает их массу и снижает трудоемкость (рис. VI.2.27).

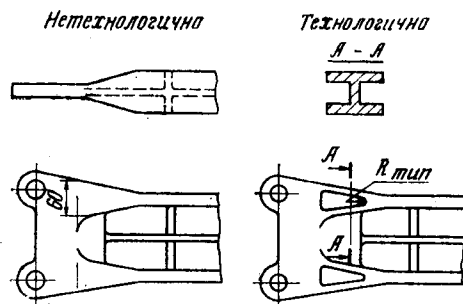


Рис. VI.2.27. Наклонные ребра большой длины.

16. При больших размерах открытых карманов с тонкими доньшками рекомендуется вводить дополнительные ребра жесткости, что повышает качество деталей, сокращает брак и снижает трудоемкость (рис. VI.2.28).

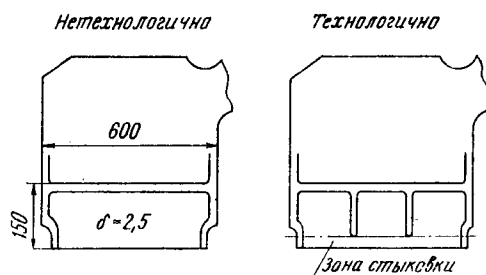


Рис. VI.2.28. Увеличение жесткости конструкции ребрами.

17. При проектировании глубоких колодцев, карманов, пазов рекомендуется их глубину давать минимальной, что повышает качество деталей и увеличивает стойкость инструмента (рис. VI.2.29). При высоких ребрах полок, прилегающих к карману, необходима фреза с режущей частью, превышающей высоту большого ребра, что требует небольших изменений. При этом высота режущей части инструмента сокращается вдвое, возрастает жесткость инструмента и повышается производительность.

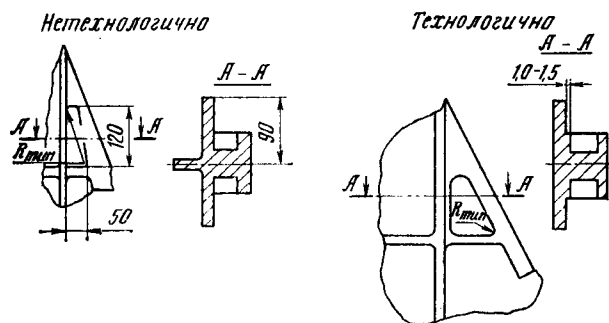


Рис. VI.2.29. Технологичность по обработке глубоких колодцев.

18. В штампованных деталях припуск на механообработку следует задавать не менее 2—3 мм на сторону и в пределах одного конструктивного элемента (колодца, кармана и т. п.) не допускать сопряжения обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей во избежание брака деталей и исключения последующей слесарной доработки (рис. VI.2.30).

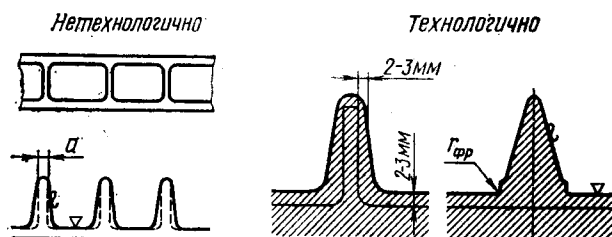


Рис. VI.2.30. Рекомендуемые припуски и сопряжения при штамповках.

19. Получение тонкостенных элементов деталей (менее 2,5 мм), ограниченных сопрягаемыми плоскостями, возможно только при резком увеличении трудоемкости и больших затратах ручного высококвалифицированного труда.

Экономически целесообразно такие элементы деталей получать размерным химическим травлением, оставляя после механической обработки припуск на размерное химическое травление, что позволит значительно снизить трудоемкость деталей. При этом чертежные допуски на размеры, получаемые размерным химическим травлением, должны складываться из допусков на механическую обработку и размерное химическое травление.

Точность и классы шероховатости обработки, а также отклонения формы и расположения сопрягаемых плоскостей в зависимости от назначения и методов обработки приведены в табл. VI.1.6, 9, 18—21.

НАРУЖНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ

При конструировании деталей с поверхностями вращения следует руководствоваться следующими технологическими требованиями.

1. Проектировать детали жесткой конструкции. При больших диаметрах обработки — 500 мм и более — в тонкостенных деталях предусматривать ребра жесткости (рис. VI.2.31). Недостаточно жесткие детали при закреплении в приспособлении и в процессе обработки деформируются. Получение точных размеров у таких деталей связано с большими производственными трудностями. Поэтому в таких случаях приходится сужать поле допуска базовой поверхности для более точной установки деталей на последующих операциях.

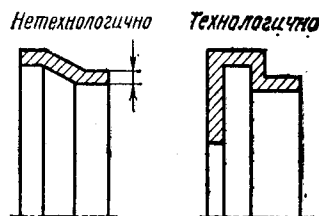


Рис. VI.2.31. Ребра жесткости в тонкостенных деталях с наружными поверхностями вращения.

При проектировании деталей типа валиков не рекомендуется задавать длины более 10 D.

2. Учитывать возможность удобного закрепления деталей на станке. Для этого

— не следует проектировать поверхности детали конической формы по всей длине. Необходимо предусматривать цилиндрический пояс, который может служить базовой поверхностью (рис. VI.2.32);

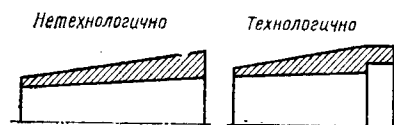


Рис. VI.2.32. Крепления для деталей.

— в тонкостенных деталях диаметром более 500 мм и высотой свыше 200 мм не рекомендуется переход между диаметрами в виде конической по-

верхности, лучше если он будет в виде уступа (рис. VI.2.33). Детали такого типа рационально обрабатывать на карусельных станках с креплением за уступ;

Нетехнологично Технологично

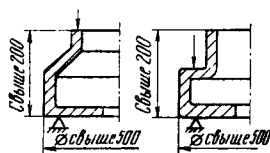


Рис. VI.2.33. Тонкостенные детали с диаметром свыше 500 мм.

— в стальных деталях, которые имеют точные наружные диаметры (2-го и 3-го классов точности) или кольцевые пояски, предусматривать центры, размеры которых оговаривать в чертежах по ГОСТ 14034—74, или центровые фаски (рис. VI.2.34, VI.2.35) для дальнейшей их обработки на шлифовальном станке.

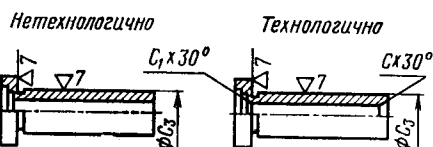


Рис. VI.2.34.

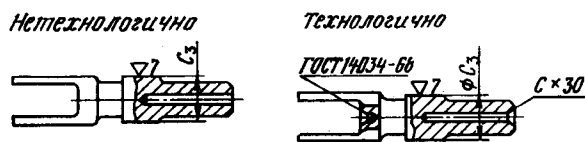


Рис. VI.2.35.

Детали с классными поверхностями.

Отсутствие центровых отверстий или фасок в чертежах требует введения технологических центров, что вызывает лишний расход материала, дополнительные операции для удаления технологических центров после окончательной обработки детали. Эти операции трудоемки, так как выполняются в большинстве случаев после закалывания, а иногда и после гальванических операций; в последнем случае места технологических центров остаются без гальванопокрытий и требуют лакокрасочной защиты.

3. При проектировании ступенчатых цилиндрических деталей с учетом заготовок предусматривать наименьший перепад диаметров. При больших перепадах диаметров следует стремиться к созданию сварных, сборных и других конструкций (рис. VI.2.36, VI.2.37).

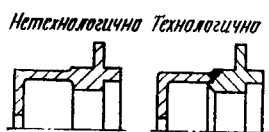


Рис. VI.2.36.

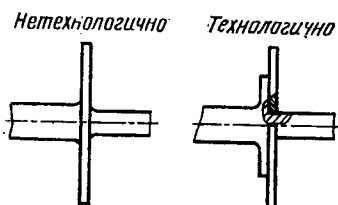


Рис. VI.2.37.

Ступенчатые цилиндрические детали.

4. Ступенчатые цилиндрические поверхности деталей следует по возможности располагать по убывающим степеням от одного конца к другому (рис. VI.2.38) или от середины к обоим концам (рис. VI.2.39).



Рис. VI.2.38.

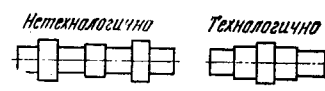


Рис. VI.2.39.

Рекомендации по расположению цилиндрических ступенчатых поверхностей.

5. Точные цилиндрические поверхности отделять от других поверхностей канавками для выхода шлифовального круга (рис. VI.2.40). Если из-за условия прочности нельзя применить канавку, то на детали для всех ступеней предусматривать одну и ту же галтель, так как разные галтели требуют частой заправки абразивного круга.

6. На наружных поверхностях вращения избегать выступов, не вписывающихся в контур поперечного сечения (рис. VI.2.41).



Рис. VI.2.40.

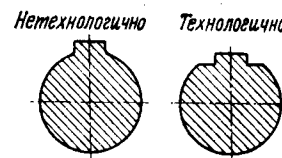


Рис. VI.2.41.

7. При сопряжении поверхностей вращения с другими поверхностями необходимо предусматривать переходные участки (рис. VI.2.42).

8. Торцевые поверхности вращения следует проектировать плоскими, без радиальных канавок и выступов. Обработка прерывистых поверхностей снижает производительность, шероховатость и точность обработки.

9. Разделять уступами поверхности, обрабатываемые разным инструментом (рис. VI.2.43).

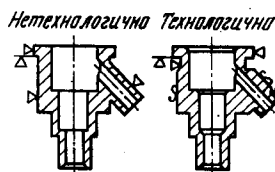


Рис. VI.2.42. Поверхности вращения, сопрягаемые с другими поверхностями.

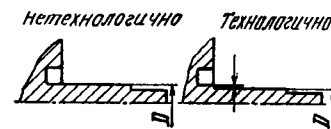


Рис. VI.2.43. Уступы на поверхности вращения.

10. Избегать проектирования кольцевых выточек на торце со стороны стержня, если торцы не требуют шлифования.

Обработка выточек связана с применением специального инструмента и увеличением трудоемкости (рис. VI.2.44).

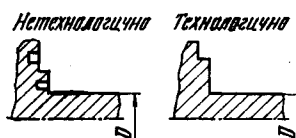


Рис. VI.2.44. Конструктивное выполнение торцов деталей вращения.

11. Точность и классы шероховатости обработки, а также отклонения формы и расположения наружных поверхностей вращения в зависимости от назначения и методов обработки даны в табл. VI.1.2, VI.2.10, VI.2.11, VI.1.18—VI.1.22.

ВНУТРЕННИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ (ОТВЕРСТИЯ)

Отверстия в деталях изготавливаются сверлением, зенкерованием, развертыванием, растачиванием, шлифованием, протягиванием и другими способами, в зависимости от требуемых классов точности, шероховатости поверхности, а также конфигурации детали (см. табл. VI.1.5, VI.1.10—VI.1.22).

Отверстия подразделяются на обыкновенные и глубокие. К глубоким относятся отверстия, у которых отношение длины к диаметру не менее 5—8 (большие значения — для отверстий меньшего диаметра).

Кроме того, отверстия делятся на сквозные и глухие. Глухими являются отверстия, в которых резко ограничено осевое перемещение инструментов, изготавливающих отверстия (обработка «в упор»), а также отверстия ступенчатые со значительным перепадом ступеней.

При конструировании деталей рекомендуется руководствоваться следующими требованиями, повышающими технологичность отверстий:

1. Отверстия по возможности проектировать сквозными. Изготовление глухих отверстий, особенно таких, к которым предъявляются высокие требования точности, шероховатости поверхности и расположения их относительно других поверхностей, вызывает большие затруднения, чем изготовление сквозных. В ступенчатых отверстиях наиболее точную ступень следует делать сквозной (рис. VI.2.45). Изготовление сквозных отверстий увеличивает производительность, так как создаются условия для более широкого применения высокопроизводительных методов обработки. По возможности следует сокращать длину обрабатываемой поверхности (рис. VI.2.46).

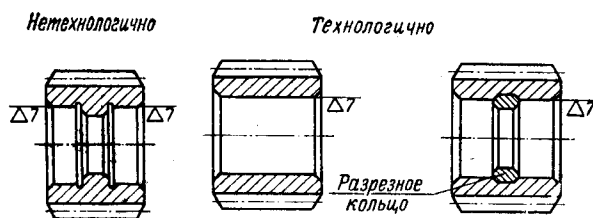


Рис. VI.2.45.

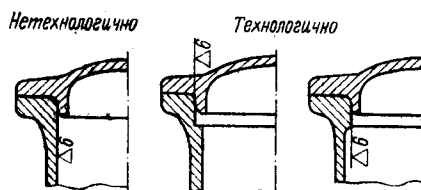


Рис. VI.2.46.

2. Ограничивать применение отверстий высокого класса точности, так как это увеличивает стоимость деталей и производственный цикл их изготовления.

В качестве примера в табл. VI.2.8 указаны необходимые наборы осевого инструмента для изготовления отверстий различных классов точности. Из таблицы видно, что для изготовления более точных отверстий требуется большее количество инструментов. Сами инструменты должны быть очень точными, но они являются и более дорогими. Кроме того, такие инструменты быстрее теряют свои размеры (изнашиваются). При изготовлении отверстий высоких классов точности необходима очень тщательная наладка станка и инструмента.

Таблица VI.2.8

Диаметр отверстия, мм	Характер заготовки	Набор инструментов		
		2-й класс точности	3-й класс точности	4-й класс точности
10—30	Сплошной материал	Сверло спиральное	Сверло	Сверло
		Зенкер	Зенкер	Зенкер
		Развертка предварительная	Развертка	—
		Развертка окончательная	—	—

3. Избегать по возможности отверстий малых диаметров (до 9 мм), 1-, 2- и 3-го классов точности в материалах, термически обрабатываемых с $\sigma_{\text{в}} \geq 100$ кгс/мм². Обработку таких отверстий с учетом класса точности и шероховатости производят инструментом, оснащенным твердым сплавом, после закаливании детали. Изготовление и эксплуатация такого инструмента представляет большие производственные трудности.

4. Правильно назначать класс шероховатости поверхности. Завышенная шероховатость поверхности обычно удорожает изготовление отверстия, заниженная может не обеспечить выбранной посадки при эксплуатации изделия. При назначении класса шероховатости поверхности следует руководствоваться табл. VI.1.18—VI.1.22.

5. Конфигурация глухих отверстий, обрабатываемых осевым инструментом, должна соответствовать конструкции применяемого инструмента (сверла, зенкера, развертки). Осевой режущий инструмент (сверло, зенкер, развертка) имеет коническую заборную часть, которая образует у дна отверстия переходную поверхность. На рис. VI.2.47 показана конфигурация такой поверхности, полученная при сверлении (а), растачивании зенкером (б), растачивании зенкером глухих отверстий (в), развертывании разверткой для сквозных отверстий (г), развертывании разверткой для глухих отверстий (д, е). Так как зенкер и развертку нельзя установить точно на глубину отверстия и они имеют разные по величине заборные конусы, то форма переходной поверхности получается ступенчатой. Подрезка торца в глухих отверстиях (см. рис. VI.2.47, в) является малопроизводительной операцией. Поэтому при обработке глухих отверстий следует применять инструменты для обработки сквозных отверстий (см. рис. VI.2.47, б, г), предусматривая в чертежах

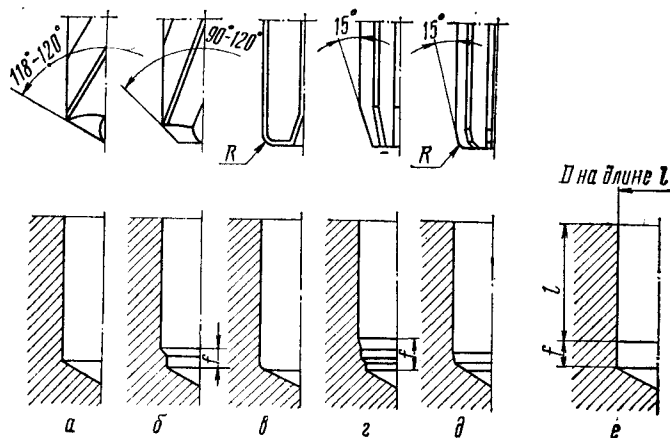


Рис. VI.2.47.

участок f (см. рис. VI.2.47, б, г, е) нерабочей части отверстия (переходной поверхности). Длина участка f указана в табл. VI.2.9.

Кроме того, при проектировании изделия следует помнить (особенно при прессовых соединениях деталей), что при изготовлении отверстий развертками для глухих отверстий диаметр последних у входа на некоторой длине (3—6 мм, в зависимости от диаметра отверстия) выходит из заданных допусков, это отклонение необходимо предусматривать чертежом.

Таблица VI.2.9

мм

Номинальный диаметр отверстия	Длина участка f		
	зенкерование	зенкерование, развертывание машинными развертками	развертывание ручными развертками
До 3	—	3	10
Св. 3 до 6	—	3	15
» 6 » 10	—	4	18
» 10 » 18	1,5	5	25
» 18 » 30	2,0	8	35
» 30 » 50	2,5	10	50
» 50 » 80	2,5	12	—

6. При проектировании точных глухих отверстий (1-, 2-, 3-го классов точности) с высоким классом шероховатости поверхности (не ниже 7-го класса) предусматривать у дна отверстия переходной уступ (рис. VI.2.48, а) или кольцевую канавку для выхода инструмента (рис. VI.2.48, б).

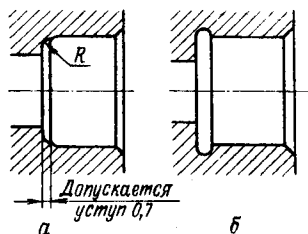
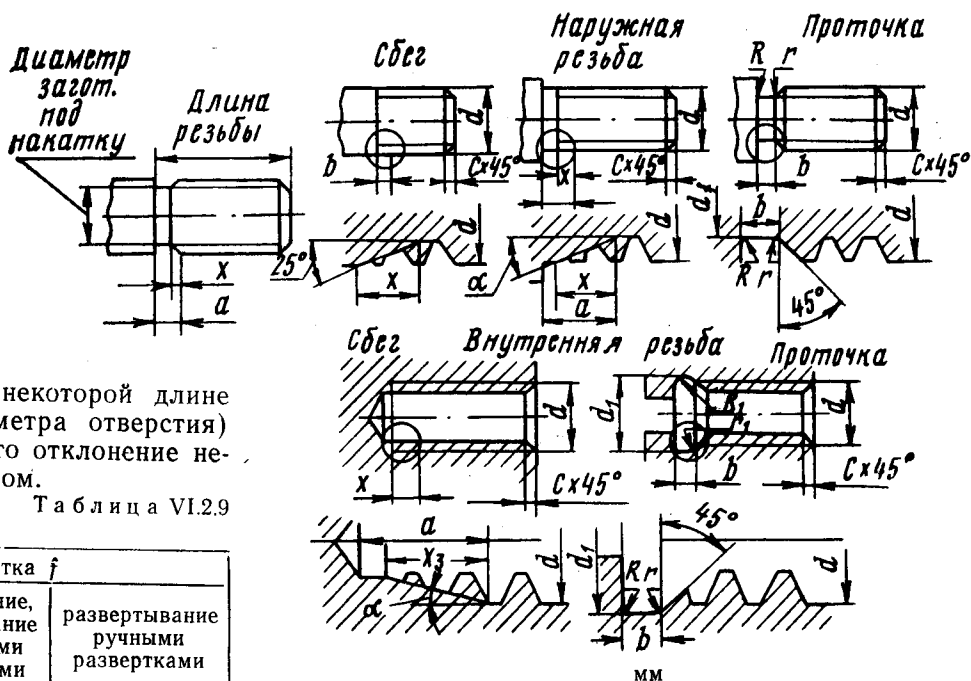


Рис. VI.2.48. Глухие отверстия 1, 2 и 3-го классов точности.

обрабатываются на сверлильных, фрезерных, расточных или агрегатных станках, то есть деталь в процессе обработки не вращается, а вращательное движение имеет инструмент, то канавки у дна отверстий делать не следует, так как в этом случае их получение связано с применением дорогостоящей оснастки или совсем невозможно. При наличии переходного уступа в чертеже указывать: «Допускается уступ не более 0,7 мм». Точные отверстия с поверхностью высокого класса шероховатости обрабатывать тонким растачиванием, шлифованием и хонингованием.

Таблица VI.2.10

Размеры сбегов и проточек для выхода резьбы по ГОСТ 100010—81



Шаг резьбы s	Сбег, не более		Недорез a , не менее	Проточка				
	X_3	X		b	d_1	R	r	Фаска C , не более
0,25	1,0	0,5	0,67	—	—	—	—	0,2
0,3		0,6	0,75	—	—	—	—	0,3
0,35		0,7	0,82	—	$d-0,5$	—	—	
0,4		0,8	0,90	—	$d-0,6$	—	—	
0,45		0,9	0,97	1	$d-0,7$	0,3	0,3	0,5
0,5	1,2	1,0	1,05	—	$d-0,8$	—	—	
0,6		1,2	1,20	—	$d-0,9$	—	—	
0,7	1,4	1,4	1,55	—	$d-1,0$	—	—	0,7
0,75	1,5	1,5	1,62	1,5	$d-1,2$	—	—	
0,8	1,6	1,6	1,90	—	—	0,5	—	
1	2,0	2,0	2,20	—	$d-1,5$	—	—	1
1,25	2,5	2,5	2,77	2	$d-1,8$	—	0,5	
1,5	3,0	3,0	3,15	3	$d-2,2$	—	—	
1,75	3,5	3,5	—	4	$d-2,5$	1,0	—	1,5
2	4,0	4,0	—	—	$d-3,0$	—	—	

Канавки обрабатываются резцами, которыми выполняются проточки под выход резьбы (табл. VI.2.10). Если отверстия предварительно

Для тонкого растачивания наиболее удобными являются диаметры d свыше 18 мм и отношение l/d , равное 0,5—1 (большие значения — для меньших диаметров). Под хонингование не следует проектировать отверстия диаметром менее 20 мм.

При обработке глухих отверстий хонингованием (10—12-го классов) предусматривать выточки шириной 0,5—1 d (меньшие значения — для больших диаметров). Если такие выточки не могут быть предусмотрены по условиям конструкций, то следует у дна отверстия применять канавки, рассмотренные выше (см. рис. VI.2.48 и табл. VI.2.10). В этом случае хонингование нельзя производить на всей длине глухого отверстия. В чертеже следует оговаривать длину хонингования (рис. VI.2.49).

7. Не рекомендуется проектировать поперечные отверстия, выходящие в обрабатываемую зону точного отверстия. Необходимо предусматривать вывод отверстия во внутреннюю кольцевую канавку (рис. VI.2.50).

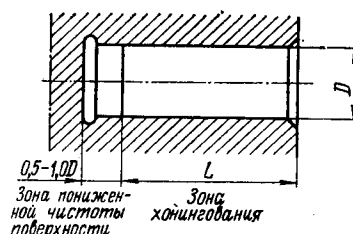


Рис. VI.2.49. Глухие отверстия при хонинговании.

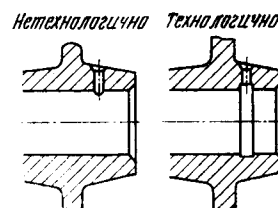


Рис. VI.2.50. Вывод поперечного отверстия в зону точного отверстия.

8. При проектировании отверстий необходимо предусматривать возможность обработки их нормализованными осевыми режущими инструментами (сверлами, зенкерами, развертками). В табл. VI.2.11 приведены рекомендуемые значения глубины отверстий в зависимости от диаметра осевых инструментов.

Таблица VI.2.11

Рекомендуемые и предельные значения глубины отверстий в зависимости от диаметров нормальных сверл, зенкеров и разверток

мм

Сверление				Зенкерование				Развертывание			
Диаметр инструмента	Рекомендуемое максимальное	Предельное		Диаметр инструмента	Рекомендуемое максимальное	Предельное		Диаметр инструмента	Рекомендуемое максимальное	Предельное	
	обычное	обычное	скоростное		обычное	обычное	скоростное		обычное	обычное	скоростное
1,0—1,15	10	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,2—1,25	12	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,3—1,35	13	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,4—1,7	14	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,75—1,8	17	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,9	19	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,0—2,1	20	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2—2,4	22	55	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,5—2,7	25	60	35	—	—	—	—	—	—	—	—
2,8—3,0	28	65	35	—	—	—	—	—	—	—	—
3,15—3,4	32	70	35	—	—	—	—	—	—	—	—
3,5—3,8	35	75	35	—	—	—	—	—	—	—	—
3,9—4,0	39	80	35	—	—	—	—	—	—	—	—
4,2—4,5	42	85	60	—	—	—	—	—	—	—	—
4,8—5,0	48	90	60	—	—	—	—	—	—	—	—
5,8—5,9	52	95	60	5,0—6	25	40	—	5—5,5	20	50	—
6,0—6,9	60	145	60	6,5—8,0	35	50	—	6—7,5	25	60	—
7,0—9,9	65	165	90	8,5—10	45	60	40	8—9,5	35	65	—
10,0—11,9	85	175	90	10,5—11,5	55	70	45	10—11,5	40	85	45
12,0—13,8	100	185	—	12,0—13	60	90	45	12—13,5	50	95	50
14,0—17,9	115	195	—	13,5—14	65	95	50	14—14,5	55	105	55
18,0—19,7	130	215	—	14,5—15	70	100	50	15—17	55	110	60
20,0—23,5	150	235	—	16	75	105	55	18	60	115	60
23,6—25,6	170	240	—	18,0—19	80	115	55	19—21	70	120	60
26,0—27,9	175	250	—	20	100	120	65	22—23	75	140	70
28,0—30,0	180	275	—	21	100	125	65	24	80	140	70
30,5—30,8	190	200	—	22	105	130	65	25—34	90	140	140
31,0—31,6	195	205	—	23,0—24	110	135	65	35—40	110	170	170
32,0—32,5	195	210	—	25	115	140	75	42—48	125	170	170
32,6—34,6	200	215	—	26	115	150	75	50—55	140	200	200
35,0—36,8	205	220	—	28	125	155	75	58—70	—	190	190
37,0—38,9	205	225	—	30	130	165	80	72—78	—	210	210
39,0—41,7	210	230	—	30,0—34	140	140	140	80	—	210	240
42,0—43,5	215	235	—	35,0—40	170	170	170	—	—	—	—
44,0—44,8	220	240	—	42,0—48	185	170	170	—	—	—	—
45,0—46,5	225	245	—	50,0—55	200	200	200	—	—	—	—
47,0—49,5	230	250	—	58,0—70	—	190	190	—	—	—	—
49,6—50	230	255	—	72,0—78	—	210	210	—	—	—	—
—	—	—	—	80	—	240	240	—	—	—	—

9. При проектировании предусматривать свободный доступ для ввода и вывода режущего инструмента в процессе обработки отверстий. Располагать отверстия относительно других поверхностей детали так, чтобы инструмент имел свободный подход (рис. VI.2.51). При проектировании отверстий в ребрах глухих карманов, что весьма нежелательно, располагать отверстия на высоте не менее 12 мм (для отверстий не свыше $\varnothing 5$ мм) от внутренней плоскости стенки (рис. VI.2.52).

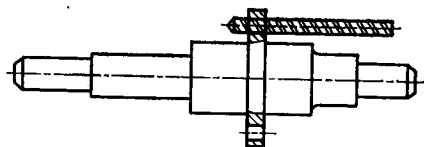


Рис. VI.2.51. Расположение отверстий относительно других поверхностей.

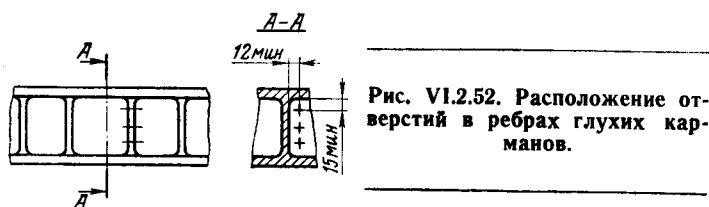


Рис. VI.2.52. Расположение отверстий в ребрах глухих карманов.

10. Не рекомендуется предусматривать отверстия с осью, расположенной под углом к поверхности детали (рис. VI.2.53). В большинстве случаев изготовление таких отверстий выше 4-го класса точности невозможно. При таком расположении отверстий на режущий инструмент действуют односторонние усилия резания, снижающие точность и шероховатость обработки поверхности. Инструмент малых диаметров при этом подвержен частой поломке. Без специальной оснастки (кондуктора) такие отверстия обработать нельзя.

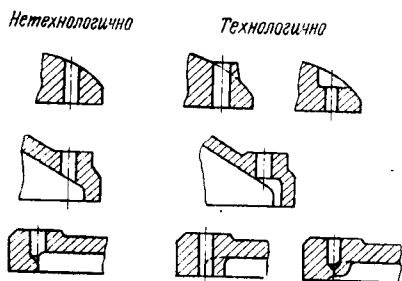


Рис. VI.2.53.

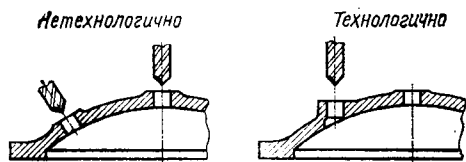


Рис. VI.2.54. Расположение отверстий относительно оси детали.

11. Не следует применять отверстия с наклонным расположением оси по отношению к оси детали. Обработка таких отверстий потребует сложного поворотного приспособления или расчленения опе-

раций сверления на несколько операций при использовании нескольких приспособлений. Это неэкономично, так как связано со значительными затратами труда и времени (рис. VI.2.54).

12. Избегать применения механически обрабатываемых выточек. Выполнение выточек в деталях на сверлильных, расточных, фрезерных и агрегатных станках очень затруднительно и требует применения специальной малопроизводительной оснастки. В некоторых случаях этого можно избежать введением разрыва в детали (рис. VI.2.55, а); в литых деталях следует применять необрабатываемые выточки (б), в глухих отверстиях выточку изготовлять в заготовках до сварки детали (в).

13. Конструкция ступенчатых отверстий должна допускать обработку их с одной стороны. Обработка ступенчатых отверстий диаметром, уменьшающимся к середине детали с обеих сторон (рис. VI.2.55, г), обычно требует расчленения на операции. Обработка отверстия за две установки приводит к увеличению отклонения отверстия от соосности. На рис. VI.2.55, д показаны отверстия, изготавливаемые за одну операцию, с диаметрами ступеней, убывающими в одном направлении. В этом случае обеспечивается наивысшая практическая достижимая точность по соосности отверстий и сокращается вспомогательное время на обработку.

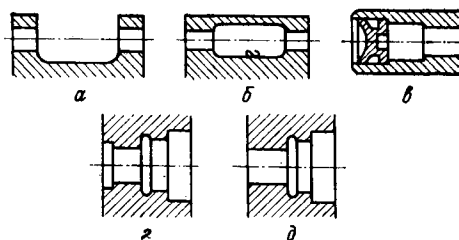


Рис. VI.2.55. Ступенчатые отверстия.

14. Избегать по возможности применения конических отверстий, особенно больших диаметров, обработка их связана с применением специальной оснастки.

15. Классные отверстия должны иметь нормальные диаметры в соответствии с ГОСТ 6636—69 (рис. VI.2.56). Всякие отклонения от ГОСТ ведут к применению специального режущего и измерительного инструмента.

16. В центровых отверстиях предусматривать предохранительную фаску во избежание повреждения их при последующей механической обработке (рис. VI.2.57), см. ГОСТ 14034—74.

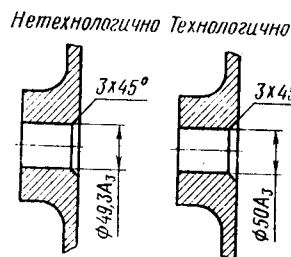


Рис. VI.2.56. Простановка размеров классных отверстий.

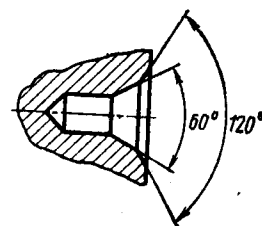


Рис. VI.2.57. Центровые отверстия.

17. Цекование торца, где это возможно, заменять обточкой (рис. VI.2.58) или фрезерованием (рис. VI.2.59). Избегать цекования поверхностей, закрытых для доступа инструмента другими поверхностями.

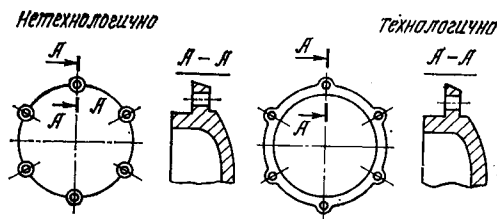


Рис. VI.2.58.

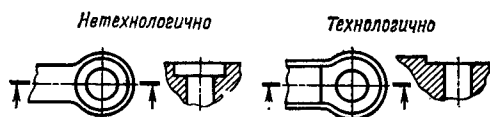


Рис. VI.2.59.

Отверстия с торцами.

Технологические требования к отверстиям в связи со сборкой следующие:

Отверстия под шпильки (нерабочую их часть) проектировать с зазором по отношению к телу шпильки (рис. VI.2.60).

Во избежание выпучивания материала у кромок отверстия при заворачивании шпилек рекомендуется на выходе отверстия предусматривать фаску (рис. VI.2.61).

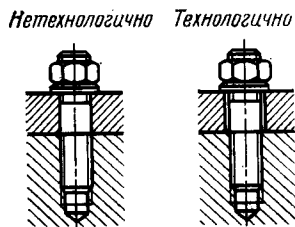


Рис. VI.2.60.

Отверстия под шпильки.

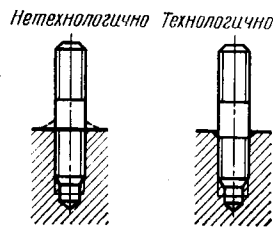


Рис. VI.2.61.

При проектировании ступенчатых или конических отверстий предусматривать только одну сопрягаемую поверхность, не допускать посадки сопрягаемых деталей по нескольким поверхностям (рис. VI.2.62).

При неподвижных посадках по нескольким концентричным поверхностям посадочные места должны быть ступенчатыми во избежание задиров посадочных поверхностей при монтаже (рис. VI.2.63). Деталь не должна одновременно садиться по нескольким поверхностям.

Следует по возможности уменьшать диаметр центрирующих кольцевых выточек у крупногабаритных деталей в целях более точной посадки (рис. VI.2.64) и защиты посадочных мест от повреждений и компактности узла (рис. VI.2.65).

Рекомендуется применять шлицевые соединения с центрированием по наружному диаметру как наиболее технологичные в отличие от соединений

с центрированием по внутреннему диаметру (рис. VI.2.66).

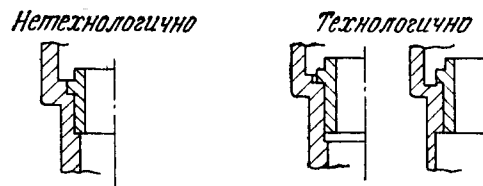


Рис. VI.2.62. Посадки сопрягаемых деталей.

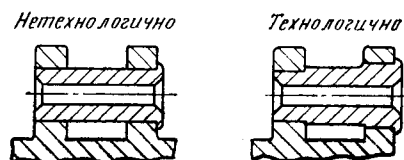


Рис. VI.2.63.

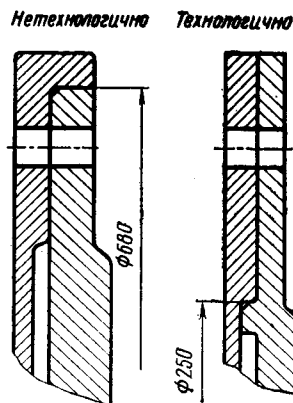


Рис. VI.2.64. Центрирующие кольцевые выточки.

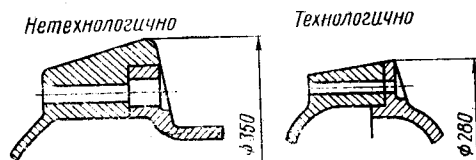


Рис. VI.2.65. Защита посадочных мест.

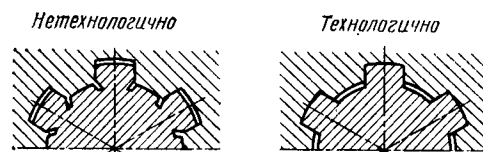


Рис. VI.2.66. Шлицевые соединения.

Отклонения формы и расположения поверхностей отверстий в зависимости от назначения и методов обработки см. в табл. VI.1.10—VI.1.17.

РЕЗЬБА И РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Наружная резьба изготавливается резцами, гребенками, круглыми плашками (лерками), фрезами, шлифовальными кругами, а также накатыванием (выдавливанием) плоскими плашками или накатными роликами. Наружная коническая резьба изготавливается резцами, фрезами и накатыванием. Наиболее прогрессивным способом изготовления резьбы является накатывание, которое, помимо повышения точности и улучшения шероховатости резьбовой поверхности, повышает также механические качества резьбы. По данным исследования докт. техн. наук А. И. Якушева, накатывание увеличивает срезающее усилие витков резьбы болта на 4—8% и повышает при соответствующих режимах циклическую прочность до двух раз.

Накатывание резьбы можно производить на всех материалах с относительным удлинением не ниже $\delta = 8 \div 10\%$ и твердостью не выше HRC... 36 ($\sigma_B = 100 \div 117$ кгс/мм²). Накатывание резьбы производится также на пустотелых деталях достаточной жесткости.

Условия работы без остаточных деформаций от возникающих при накатывании усилий для пустотелых деталей можно приближенно определить по формуле

$$\sigma = \frac{2p(D_{cp} + d)}{(D_{cp} - d)^2} \leq \sigma_s,$$

где p — рабочее давление ролика на 1 мм длины резьбы, кгс;

D_{cp} — средний диаметр накатываемой резьбы, мм;

d — диаметр внутреннего отверстия, мм;

σ_s — предел текучести, кгс/мм².

Значения рабочего давления ролика для термически обработанных сталей приведены в табл. VI.2.12.

Таблица VI.2.12

Шаг резьбы, мм	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0
Давление на 1 мм длины резьбы, кгс	120	130	140	160	180

При накатывании резьбы на пустотелых деталях, деталях из латуни и дюралюминия рабочее давление роликов снижается на 40—70%. В случае недостаточной жесткости пустотелых деталей изготовление внутренней полости рекомендуется производить в последующие операции (после накатывания резьбы).

Отечественные резьбонакатные станки допускают накатывание резьбы диаметром 60 мм и длиной 115 мм и имеют рабочее усилие на роликах $p_{max} = 12\,000$ кгс.

При серийном производстве изготовление наружной резьбы рекомендуется осуществлять:

- накатыванием (если позволяют габаритные размеры и конфигурация детали);
- фрезерованием (кроме деталей, термически обработанных на прочность, $\sigma_B \geq 110$ кгс/мм²);
- нарезанием резцом или гребенками.

Точность изготовления резьбы указана в табл. VI.1.7.

Наихудшим в отношении качества резьбовой поверхности является изготовление резьбы способом нарезания круглыми плашками (лерками).

Шлифование резьбы представляет собой весьма трудоемкую операцию, которую по возможности следует избегать, заменяя шлифование накатыванием.

В табл. VI.2.13 приведены данные зависимости получаемой шероховатости резьбовой поверхности от способа изготовления. Зависимость производительности от способа изготовления резьбы приведена на рис. VI.2.67.

Таблица VI.2.13

Способ изготовления резьбы	Шероховатость обрабатываемых поверхностей (класс по ГОСТ)	
	экономическая	возможная
Шлифование	8	10
Накатывание круглыми роликами	7	10
Нарезание резцом	6	8
Нарезание гребенками	6	6
Фрезерование	5	6
Нарезание круглыми плашками (лерками)	5	6

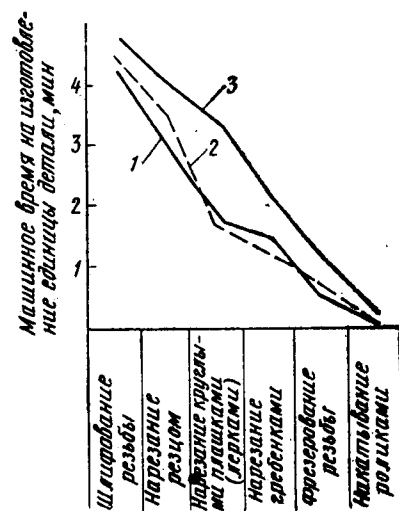


Рис. VI.2.67. Зависимость производительности от способа изготовления резьбы:

1 — M10×1, $l=30$; 2 — M16×1,5, $l=30$; 3 — M36×2, $l=30$ (l — длина резьбовой части, мм).

На рис. VI.2.68 показаны наиболее часто встречающиеся в конструкциях наружные резьбовые поверхности.

Рекомендуется:

- на наружных резьбовых поверхностях проектировать заходную фаску (45°), которая обеспечи-

вают благоприятные условия для работы режущего резьбообразующего инструмента и способствует предохранению начальной нитки резьбы от механических повреждений. Ширина фаски должна равняться шагу нарезаемой резьбы;

— на деталях с наружной резьбой предусматривать канавки для выхода режущего инструмента (рис. VI.2.68, а, в). Проточка канавок является дополнительной технологической операцией и должна предусматриваться в чертеже при

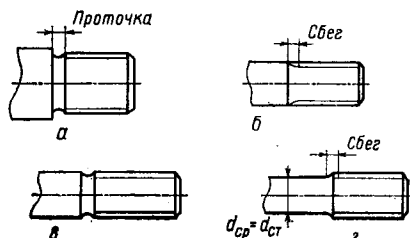


Рис. VI.2.68. Наружные резьбовые поверхности.

нарезании резьбы на деталях из сталей ЭИ643, 30ХГСА и других с последующей термообработкой;

нарезании резьбы резцом и шлифовальным кругом.

Изготовление резьбы фрезерованием — нарезанием круглыми плашками и накатыванием целесообразнее давать сбеги резьбы.

На рис. VI.2.68, б приведен вариант резьбы, где вместо канавки предусмотрен сбеги. Форма и размеры проточек и сбегов резьбы приведены в табл. VI.2.10. Вариант наиболее технологичного изготовления резьбы способом накатывания, исключая редуцирование стержня перед накатыванием, приведен на рис. VI.2.68, г. Средний диаметр $d_{ср}$ резьбы примерно равен диаметру стержня $d_{ст}$, угол заходной фаски при накатывании равен $\alpha \leq 30^\circ$.

Шлифуемые диаметры должны быть больше диаметра резьбы. Это позволяет производить шлифование более производительными методами, например продольной подачей (рис. VI.2.69).

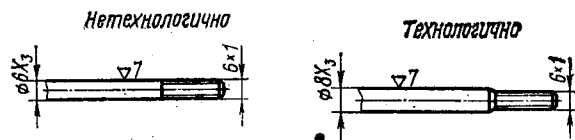


Рис. VI.2.69. Размеры сопрягаемых шлифуемых и резьбовых поверхностей.

На деталях, термически обрабатываемых с $\sigma_B \geq 110$ кгс/мм², рекомендуется применять изотермическую светлую калку, что исключает операцию калибрования резьбы после термообработки.

Внутренняя резьба изготавливается нарезанием метчиками, гребенками, резцами, фрезами и шлифовальными кругами. Внутренняя коническая резьба изготавливается нарезанием резцами и фрезерованием. Наиболее производительным способом является нарезание резьбы метчиками, наиболее трудоемким — шлифовальными кругами.

При серийном производстве внутренние резьбы на материалах, термически обработанных на прочность с $\sigma_B \leq 110$ кгс/мм², рекомендуется изготавливать нарезанием метчиками и гребенками, фрезерованием, нарезанием резцами.

Фрезерование и нарезание гребенками и резцами внутренней резьбы выполнимо при номинальном размере резьбы от 16 мм и выше. Нарезание метчиками по целому материалу рекомендуется производить до 30—33 мм номинального размера резьбы, большие диаметры желательно изготавливать предварительно резцом, а затем калибровать метчиком.

Диапазон размеров внутренней резьбы, изготавливаемой шлифованием, ограничивается существующим оборудованием. Шлифование для незакаленных деталей предусматривать не следует.

На рис. VI.2.70 показаны наиболее часто применяемые в конструкциях внутренние резьбовые поверхности (отверстия).

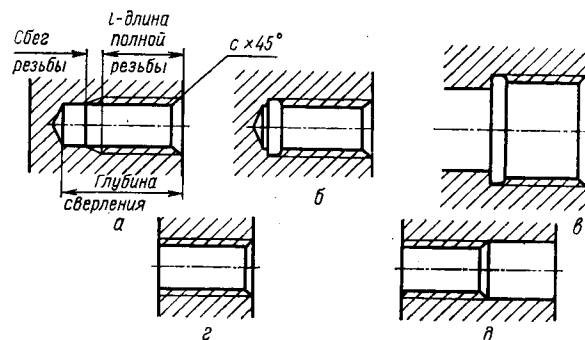


Рис. VI.2.70. Внутренние резьбовые поверхности.

Рекомендуется:

— на внутренних резьбовых поверхностях предусматривать заходную фаску, создающую благоприятные условия для работы режущего инструмента;

— в резьбовых отверстиях с несквозной резьбой, нарезаемой метчиком или фрезой, предусматривать сбеги резьбы (рис. VI.2.70, а, б); размеры сбега определять по табл. VI.2.10. Глубина сверления отверстия под резьбу должна быть по возможности большей, а при коротких изделиях — сквозной;

— при изготовлении резьбы резцом, гребенкой или шлифовальным кругом в глухих резьбовых отверстиях (диаметром от 12 мм и выше) проектировать канавки (проточки) для выхода режущего инструмента (рис. VI.2.70, в);

— внутренние резьбы изготавливать по возможности сквозными. На рис. VI.2.70, г показан наиболее технологичный вариант изготовления резьбового отверстия;

— избегать длинных внутренних резьб. Длина резьбы не должна превышать $1,5-2D$ (D — наружный диаметр резьбы). В случае глубоких отверстий рекомендуется резьбу делать не длиннее $1,5-2D$, рассверливая остальную часть отверстия сверлом большего диаметра (рис. VI.2.70, д);

— избегать резьбы с номинальным диаметром менее 6 мм вследствие частой поломки метчиков при нарезании резьбы;

— на деталях, термически обработанных на прочность с $\sigma_B \geq 110$ кгс/мм², внутреннюю резьбу по возможности нарезать до термообработки с последующим калиброванием после термообработки. Это вызывается причинами как технологического характера (трудоемкостью изготовления резьбы), так и прочностного (см. инструкции ВИАМ);

— унифицировать размеры применяемых резьб по изделию в целом для уменьшения номенклатуры режущего и измерительного инструмента.

Резьбовые соединения широко применяются в промышленности. Однако изготовление резьб (особенно больших диаметров) в крупногабаритных или тяжелых деталях вызывает большие затруднения. Нарезание резьб на горизонтально-сверлильно-фрезерных (расточных) станках возможно только при оснащении станков специальными приспособлениями. Кроме того, существующие технологические методы изготовления резьб диаметром более 30 мм малопроизводительны.

Следует избегать резьбовых соединений с номинальным диаметром более 30 мм, особенно в крупногабаритных или тяжелых деталях, заменяя, например, внутренние резьбы больших диаметров резьбовыми втулками или одно большое резьбовое отверстие несколькими небольшими, расположенными в торце детали (рис. VI.2.71).

Нетехнологично Технологично

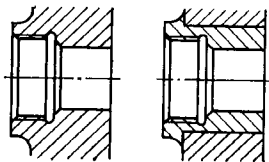


Рис. VI.2.71. Замена резьбовых поверхностей большого диаметра на меньшие.

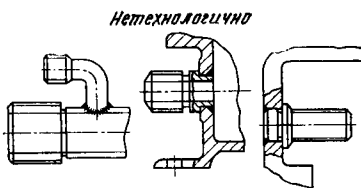
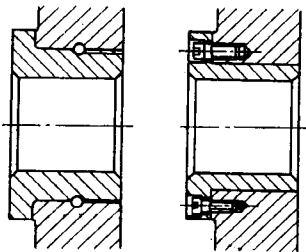


Рис. VI.2.72. Резьбовые поверхности сборных конструкций.

Конструкция детали должна обеспечить свободный подход резьбового инструмента к элементам резьбовой поверхности детали. При сборной конструкции (рис. VI.2.72) элементы детали не должны мешать калиброванию и контролю резьбы после термической обработки и гальванических покрытий.

Избегать применения отверстий под штифты или шпильки на резьбовых поверхностях. Кроме производственных трудностей, возникающих при изготовлении таких отверстий в закаленных деталях $\sigma_B \geq 110$ кгс/мм², требуется введение операции калибрования резьбы после сверления отверстия на резьбовой поверхности.

Резьбовые соединения, работающие под нагрузкой переменными поперечными силами, рекомендуется снабжать опорными поясками во избежание разбивания и наклепа резьбы (рис. VI.2.73).

Точность и классы шероховатости резьб в зависимости от назначения и метода обработки определять по табл. VI.1.7, VI.1.18—VI.1.21 и VI.2.13.

ФАСОННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Фасонные поверхности тел вращения в большинстве случаев изготавливаются на токарных станках профилированными резцами или методом копирования (по специальным копирам). При изготовлении фасонными резцами точность профиля и шероховатость зависят от точности и чистоты режущих кромок инструмента, жесткости детали и состояния станка. Обычно получаемый класс шероховатости равен 5—6-му, получаемая точность обработки приведена в табл. VI.1.8.

1. Для обеспечения благоприятных условий работы режущего инструмента угол α между осью вращения детали и касательной к образующей профиля не должен превышать 80° (рис. VI.2.74).

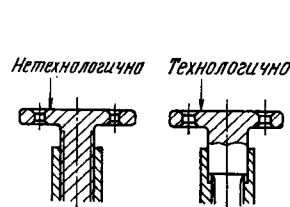


Рис. VI.2.73. Резьбовые соединения с опорными поясками.

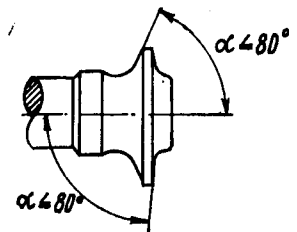


Рис. VI.2.74. Размер угла между осью вращения детали с касательной к образующей ее профиля.

При изготовлении фасонных поверхностей по копирам на точность обработки и класс шероховатости, кроме точности копира, влияет также и инерционность копировальной системы. Поэтому шероховатость обрабатываемой фасонной поверхности и точность обработки при изготовлении по копирам не превышает шероховатость и точность при изготовлении фасонным инструментом (см. табл. VI.1.8).

Длина обрабатываемой фасонной поверхности практически ограничивается возможностями станка и устройством копировальной системы. Усилия резания примерно равны усилиям, возникающим при обработке детали обычным проходным резцом.

При обработке по копиру угол α между осью вращения детали и касательной к образующей профиля не должен превышать величин, указанных на рис. VI.2.75. Углы α во всех случаях рекомендуется уменьшать.

2. Наружные и внутренние сферические поверхности не должны быть сплошными.

Следует избегать применения сплошной сферической наружной поверхности, для улучшения технологичности торец детали оставлять плоским. Кроме того, желательно предусматривать переходную проточку. Сплошная внутренняя сферическая поверхность нетехнологична. Для улучшения техно-

логичности рекомендуется в детали предусматривать центральное отверстие или засверловку (рис. VI.2.76).

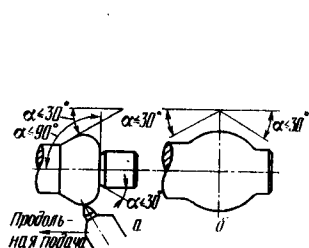


Рис. VI.2.75. Системы копирования:

а — система гидравлического копирования; б — система механического копирования.

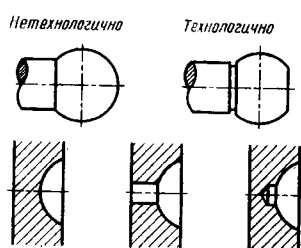


Рис. VI.2.76. Наружные и внутренние сферические поверхности.

3. Механически обрабатываемые фасонные поверхности следует четко отделять от других поверхностей. Для обработки галтели, сливающейся с другой поверхностью, фрезу приходится устанавливать для каждой детали в зависимости от фактического размера заготовки с последующей слесарной доработкой. Изменение формы выступа устраняет этот недостаток, улучшает технологичность детали и позволяет производить обработку детали по настроенному процессу (рис. VI.2.77).

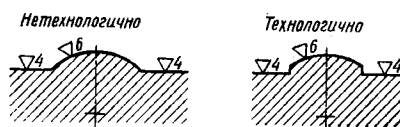


Рис. VI.2.77. Технологичное и нетехнологичное оформление фасонной поверхности.

4. Фасонные отверстия должны иметь симметричный профиль. Наиболее производительным методом получения таких отверстий является протягивание. Желательно, чтобы для облегчения работы протяжки контур профиля был максимально образован окружностью (рис. VI.2.78). В фасонных отверстиях не следует применять внутренних выточек, так как это приводит к поломке инструментов.

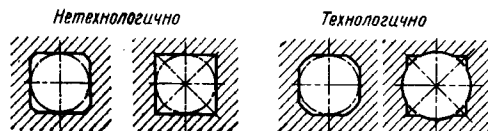


Рис. VI.2.78. Фасонные отверстия.

5. Точность и классы шероховатости фасонных поверхностей в зависимости от назначения и методов обработки приведены в табл. VI.1.4, VI.1.8, VI.1.18—VI.1.22.

ФАСКИ И ГАЛТЕЛИ

Для обработки фасок применяют нормальный режущий инструмент с прямолинейными режущими кромками: резцы, фрезы, зенкеры, сверла. Для обработки галтелей, как правило, необходимо применять специальный фасонный инструмент: резцы, зенкеры, фрезы (рис. VI.2.79). Обработка галтелей связана с увеличением номенклатуры режущего и измерительного инструмента, а также с понижением режимов резания по сравнению с работой нормальными инструментами.

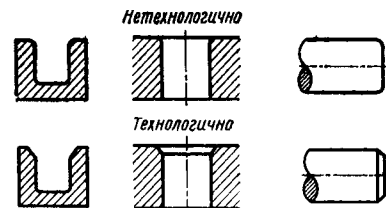
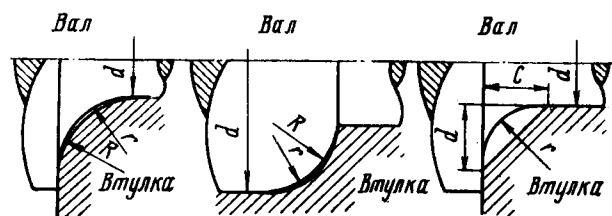


Рис. VI.2.79. Фаски и галтели.

Рекомендуется:

— предусматривать фаски на концах сопрягаемых деталей, на наружной поверхности и в отверстиях. Отсутствие фасок затрудняет нарезку резьбы и сборку деталей, а также может быть причиной задилов, среза обработанной поверхности (рис. VI.2.80);

Таблица VI.2.14



Диаметр вала d	Радиус вогнутой поверхности		Радиус выпуклой поверхности и фаска	
	r	допуск	R и C	допуск
От 1 до 3	0,2	—0,1	0,4	+0,2
Св. 3 до 6	0,4	—0,2	0,6	
„ 6 „ 10	0,6		0,8	
„ 10 „ 14	0,8		1,0	
„ 14 „ 18	1,0	—0,5	1,5	+0,5
„ 18 „ 30	1,5		2,0	
„ 30 „ 50	2,0		2,5	
„ 50 „ 80	2,5		3,0	
„ 80 „ 120	3,0	—1,0	4,0	+1,0
„ 120 „ 180	4,0		5,0	
„ 180 „ 220	5,0		6,0	
„ 220 „ 260	6,0		8,0	
„ 260 „ 360	8,0	—2,0	10,0	+2,0
„ 360 „ 500	10,0		12,0	

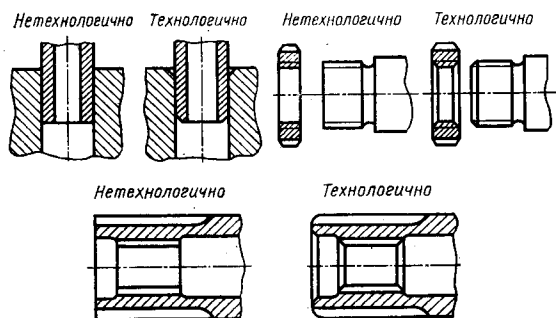


Рис. VI.2.80. Фаски на концах сопрягаемых деталей.

— по возможности унифицировать размеры фасок и галтелей. Это значительно сократит номенклатуру применяемого инструмента и будет способствовать снижению себестоимости деталей;

— в случаях, когда требуется острая кромка, например у клапанов, золотников и т. п., в чертежах следует делать оговорку: «Острая кромка»;

— притупление наружных (кромки) и внутренних (галтелей) углов, размеры которых не указаны в чертеже, выполнять по нормам 722АТ;

— размеры и допуски на изготовление фасок и галтелей назначать по нормам 722АТ.

В табл. VI.2.14 приведены рекомендуемые сопряжения радиуса с радиусом и радиуса с фаской.

Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ТИПОВЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ КЛАССОВ ДЕТАЛЕЙ

К основным классам механически обрабатываемых деталей современных самолетов относятся: монолитные панели, крупногабаритные детали из магниевых сплавов, балки и лонжероны, монорельсы, узлы поворота, шпангоуты и рамы, длинномерные детали из прессованных профилей, профили разьема, фитинги и кронштейны, рычаги и качалки, фланцы и крышки.

Обработка механообрабатываемых деталей на металлорежущих станках — наиболее трудоемкий процесс, требующий особо сложных средств производства и технологического оснащения. Основными факторами, способствующими снижению трудоемкости изготовления таких деталей, являются повышение технологичности геометрических форм обрабатываемых поверхностей, правильное назначение класса точности и шероховатости, а также снижение объема механической обработки.

Поэтому при проектировании деталей следует выполнять следующие требования:

1. Исходная заготовка по своим формам и размерам должна максимально приближаться к готовой детали. Детали больших габаритных размеров или сложных конструктивных форм следует расчленять.

2. В конструкции детали предусматривать минимальное количество обрабатываемых поверхностей. Обработку необходимо показывать только для сопрягаемых поверхностей. На размеры между необрабатываемыми и обрабатываемыми поверхностями указывать допуски, соответствующие допускам на штамповку и литье с учетом механической обработки и согласно этому указывать допуск на отклонение массы детали.

3. Не применять в конструкциях крупногабаритных деталей ступенчатых и фасонных отверстий, кольцевых выточек, глухих отверстий, а также резьбы больших диаметров, которые не могут быть нарезаны метчиками.

4. В конструкциях деталей предусматривать удобный ввод и вывод режущего инструмента, а также свободный доступ для измерения обрабатываемых

поверхностей нормальным измерительным инструментом.

5. Устранять по возможности обработку высокой точности, применяя ее лишь в необходимых случаях на отдельных участках небольшой протяженности.

6. Предусматривать совмещение конструктивных и технологических баз.

7. У крупногабаритных деталей, не имеющих элементов наружного или внутреннего контура, которые могли бы быть использованы для базирования, следует предусматривать технологические отверстия.

Диаметры базовых технологических отверстий в зависимости от габаритных размеров деталей рекомендуется принимать согласно табл. VI.3.1.

Таблица VI.3.1

Габаритные размеры детали (длина)	Наименьший допустимый диаметр базового отверстия
До 100	4
Св. 100 до 200	6
» 200 » 1000	10
» 1000 » 2000	16
» 2000	20

Примечание. Допуски базовых отверстий брать по 3-му классу точности, а на $\varnothing 16$ и 20 — по 2-му.

8. В конструкциях крупногабаритных деталей должна быть учтена деформация, которая возникает при точной обработке деталей на станках.

9. Устранять обработку поверхностей по теоретическим обводам, если эти поверхности непосредственно не входят в наружный теоретический обвод самолета и др.

10. При конструировании рекомендуется конфигурацию детали компоновать из простых однотипных геометрических поверхностей. Это значительно

упростит обработку деталей и облегчит применение станков с программным управлением.

11. Проектировать детали с механически обрабатываемыми поверхностями больших размеров с учетом возможности обработки их на универсальных металлорежущих станках.

12. Крепежные отверстия в деталях должны быть стандартными по диаметрам и их резьбам. Номенклатура их должна быть минимальной.

МОНОЛИТНЫЕ ПАНЕЛИ

В настоящее время в конструкциях летательных аппаратов все шире используются крупногабаритные монолитные панели. Панели образуют аэродинамические поверхности одинарной и двойной кривизны крыла, фюзеляжа и оперения, а также элементы топливных баков, ящиков и перегородок самолета.

По имеющимся практическим данным, применение монолитных панелей взамен клепаных позволяет в отдельных случаях снизить массу панелей до 25%, количество соединений до 70%, общую массу конструкции изделия до 2—4%. Однако стоимость монолитных конструкций значительно выше, чем клепано-сборных, поскольку при их изготовлении много металла идет в отход, а для обработки заготовок применяются дорогостоящее оборудование и оснастка. Таким образом, возникает необходимость определения экономической эффективности использования монолитных конструкций, при расчете которой необходимо учитывать эффективность дополнительных капитальных вложений в строительство и оборудование.

Монолитные панели изготавливаются из легких сплавов В95, Д16, АК4-1 и др, применяются также сплавы ВТ20, ОТ4 и сталь ВНС-2. Обрабатываемость сплавов АК4-1 и Д16 резанием удовлетворительная.

При механической обработке сплава В95 необходимо учитывать, что при резании в поверхностном слое возникают напряжения, ведущие (особенно в тонкостенных деталях) к короблению и образованию хлопунцов, исправление которых весьма затруднительно, а иногда и невозможно. Кроме того, требуется тщательная зачистка всей обрабо-

танной поверхности до шероховатости $Rz\ 20$ $Rz\ 2,5$ после всех видов механических операций (фрезерования, сверления и т. д.).

Изготовление деталей из сплава В95 в состоянии поставки, то есть закаленного и искусственно состаренного, вызывает значительные трудности, особенно при проведении операций правки и формообразования.

Обрабатываемость резанием титановых сплавов ВТ20, ОТ4 и стали ВНС-2 низкая. При обработке этих сплавов необходимо руководствоваться инструкциями и технологическими рекомендациями ВИАМ и НИАТ.

Исходя из условий прочности и технических возможностей оборудования, заготовки панелей могут быть выполнены следующими методами:

- свободной ковкой с последующей прокаткой плит;
- литьем с последующей прокаткой;

- горячим штампованием;
- горячим прессованием через фильеру;
- специальным литьем.

В целях уменьшения коробления заготовки панелей должны быть подвергнуты растяжению с удлинением от 1 до 3%.

Для обеспечения точности обработки полотна панелей рекомендуется поверхность со стороны теоретического контура на всех видах монолитных панелей обрабатывать лезвийным инструментом, создавая этим точную базу для дальнейшей обработки.

Панели, изготавливаемые из плит

Монолитные панели из плит обрабатываются фрезерованием. Этот метод отличается большой универсальностью и позволяет получать панели с любой схемой подкрепляющего набора. В то же время обработка панелей является серьезной технологической проблемой, решение которой может быть обеспечено комплексной проработкой вопросов по созданию специального оборудования, совершенствованию форм заготовок и конструктивных особенностей панелируемых конструкций.

Изготовление монолитных панелей из плит имеет следующие недостатки:

- 1) снижение механических свойств материала плит большой толщины;
- 2) большой объем механических работ;
- 3) сложность получения подкрепляющих ребер наиболее рациональных сечений — таврового и углового;
- 4) большой отход металла в стружку — коэффициент использования материала составляет 0,05;
- 5) наличие в конструкции больших перепадов толщины (толстые законцовки и тонкие полотна, ребра различной высоты, малые радиусы сопряжений), что значительно усложняет процесс правки и формообразования, а в ряде случаев вообще исключает успешное проведение этих операций;
- 6) значительные затраты труда (в том числе и ручного) для обеспечения точности размеров и шероховатости поверхностей при больших размерах панели.

При проектировании монолитных панелей, подлежащих изготовлению из плит или листа, необходимо учитывать следующие требования:

1. Форму ребер жесткости следует задавать призматической. Трапециевидная или какая-либо другая, более сложная форма не рекомендуется.
2. Ребра жесткости располагать параллельно и с постоянным шагом (рис. VI.3.1).

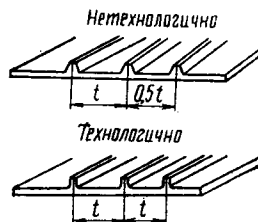


Рис. VI.3.1.
Расположение ребер жесткости по шагу.

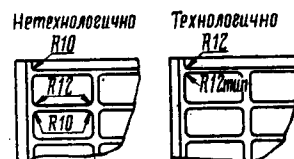


Рис. VI.3.2.

3. Массу деталей (панелей) назначать с учетом всего поля допуска на толщину полотна и ребер, а не по номинальным размерам, так как в процессе механической обработки исполнители, боясь брака, стараются работать по верхнему пределу поля допуска.

4. При назначении шероховатости поверхностей панелей необходимо учитывать, что применение поверхностного упрочнения понижает шероховатость на 1—2 класса по сравнению с исходным состоянием и увеличивает циклическую долговечность в 1,5—4 раза.

5. При проектировании панелей вафельного типа предусматривать:

а) одинаковые радиусы переходов в ячейках панели (рис. VI.3.2), что значительно снижает трудоемкость детали и позволяет вести обработку без больших затрат ручного труда высококвалифицированных рабочих;

б) радиус сопряжения ребер (рис. VI.3.3) назначать из соотношений:

$R = \frac{B}{(4 \div 5)}$ — для легкообрабатываемых материалов;

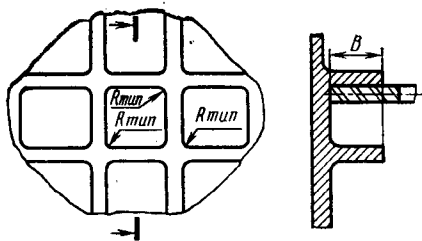


Рис. VI.3.3.

$R = \frac{B}{(2 \div 2,5)}$ — для труднообрабатываемых материалов;

где R — радиус сопряжения; B — ширина фрезерования.

В случае, если требуется меньший радиус сопряжения ребер, предусматривать уступы, разделяющие поверхности, обрабатываемые на различных операциях. Это позволит значительно снизить трудоемкость деталей (рис. VI.3.4);

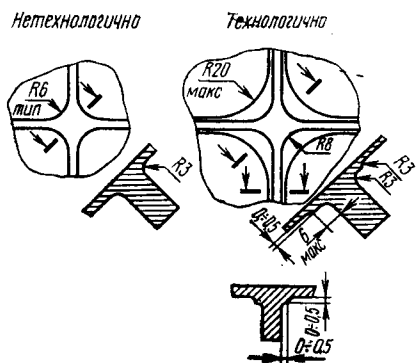


Рис. VI.3.4.

в) колодцы панелей проектировать с равными размерами по шагу продольного и поперечного наборов, что позволит применить многошпиндель-

ную обработку и упростить подготовку программ для станков с ЧПУ (рис. VI.3.5);

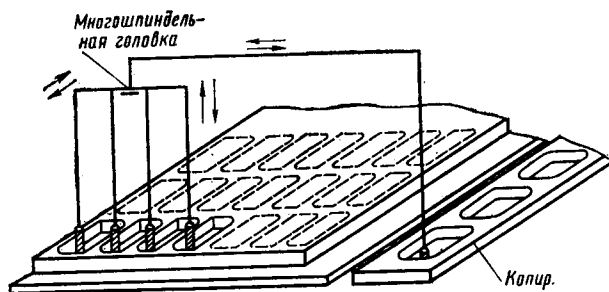


Рис. VI.3.5.

г) толщина полотна панелей должна быть не менее 2,5 мм.

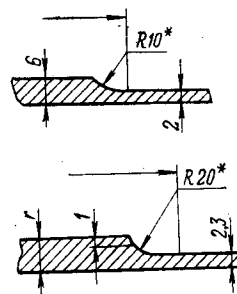
При обработке колодцев панели с толщиной полотна менее 2,5 мм вследствие перераспределения внутренних напряжений возникают хлопунцы, которые приводят в большинстве случаев к неисправному браку деталей.

Можно назначать толщину полотна панелей менее 2,5 мм, но при условии уменьшения размеров ячеек панели, то есть повышения жесткости детали;

д) при назначении радиусов в местах сопряжения ребер учитывать, что радиус сопряжения должен быть больше половины диаметра фрезы не менее чем на 2 мм ($R_{фр} = R - 2$ мм).

6. В местах обнижений на полотне с различными перепадами толщин в примечаниях к чертежу указывать « R — только для инструмента», как дано на рис. VI.3.6.

7. Панели, имеющие малкованные ребра, проектировать, как указано на рис. VI.3.7.



R^* — только для инструмента

Рис. VI.3.6.

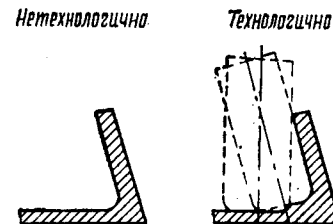


Рис. VI.3.7.

8. Не рекомендуется переходы полотна и подсе-чек задавать уклоном. Наиболее целесообразно проектировать ступенчатые переходы (рис. VI.3.8).

9. Не рекомендуется закладывать в конструкцию панелей элементы лонжеронов, кронштейнов и другие жесткие элементы. Это вызывает большие

трудности при формообразовании и, как правило, при механической обработке после гибки, что возможно только при значительных затратах высококвалифицированного труда, что несовместимо с условиями серийного изготовления деталей.

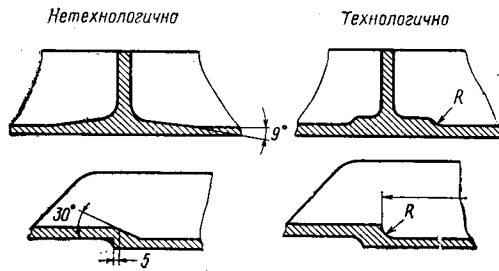


Рис. VI.3.8.

10. При определении размеров панелей руководствоваться техническими возможностями оборудования, учитывая, что целесообразно применять небольшое количество моделей станков, а панели, не укладываемые по габаритным размерам, делить на детали с меньшими размерами. В настоящее время максимальные габаритные размеры панелей, которые можно обработать, составляют 25 000 × 2500 мм.

11. При больших размерах деталей назначать допуск на полотна не менее 0,5 мм, так как точность детали зависит от: точности станка и приспособления, условий крепления детали и износа инструмента, устранение которых весьма сложно.

Допуск на полотна менее 0,5 мм вызовет большой объем слесарно-доводочных работ, что значительно удорожит деталь.

12. Панели с толщиной полотна и ребер менее 2,5 мм могут быть получены механической обработкой до толщины 2,5 мм и последующим размерным химическим травлением до требуемой тол-

щины. Допуск в этом случае суммируется из допуска на механическую обработку и допуска на химическое травление.

Панели из горячештампованных заготовок

Панели проектируются так, что все подкрепляющие конструктивные элементы расположены с одной стороны. Это делает их технологичными для горячей штамповки. Изготавливать монолитные панели методом горячей штамповки на гидравлических прессах рекомендуется для конструкций, имеющих сложный продольный, поперечный или веерный набор подкрепляющих ребер-стрингеров (рис. VI.3.9).

Конструкции монолитных панелей из горячештампованных заготовок должны удовлетворять следующим требованиям:

- обработка подвергается менее 30% поверхности панели;
- поверхности со стороны ребер калибруются в штампах без дальнейшей механической обработки;
- коэффициент использования металла должен составлять не менее 50—60% от массы исходной заготовки;
- допуск на толщину обшивки суммируется из допуска на штамповку и допуска на механическую обработку.

Панели из горячепрессованных заготовок

Монолитные панели из заготовок, изготовленных горячим прессованием с помощью матрицы, рекомендуется применять для конструкций крыла, фюзеляжа и других агрегатов, имеющих продольный набор подкрепляющих ребер-стрингеров.

В настоящее время металлургические заводы освоили и выпускают прессованные заготовки для монолитных панелей длиной до 18 000 мм при ширине до 2000 мм. В перспективе намечается выпуск заготовок длиной до 30 000 мм.

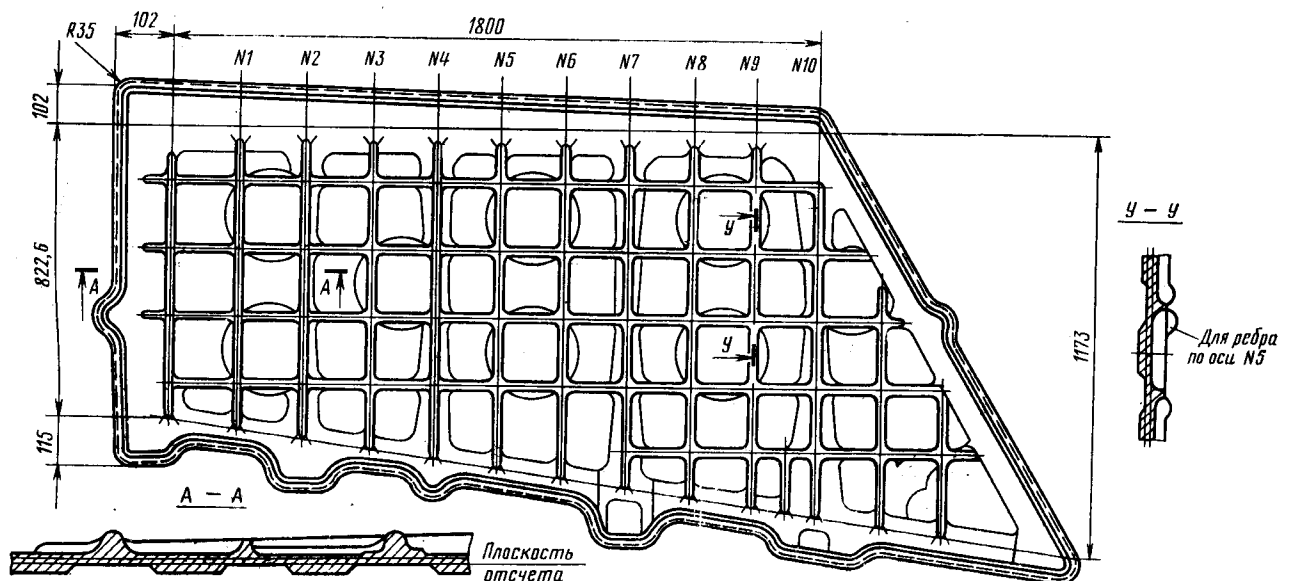


Рис. VI.3.9. Монолитная панель, изготавливаемая методом горячей штамповки.

Прессованные заготовки по сравнению с коваными имеют следующие преимущества:

1) повышенные механические свойства вследствие высокого коэффициента деформации (обжатия) при прессовании;

2) резкое сокращение объема механической обработки;

3) малый отход металла в стружку, масса готовых панелей составляет 30—80% от массы исходной заготовки;

4) наличие постоянного сечения по всей длине заготовки, что упрощает правку и формообразование;

5) возможность получения подкрепляющих ребер таврового и других сечений, наиболее рациональных с точки зрения работы на сжатие;

6) получаемые при прессовании поверхности сложной конфигурации не требуют дальнейшей обработки, кроме местных доработок;

7) все поверхности прессованных заготовок в состоянии поставки (за исключением мест, имеющих механические повреждения) имеют шероховатость поверхности 6—7-го класса независимо от сложности профиля сечения;

8) трудоемкость изготовления панелей из плит в 3—4 раза больше, чем из прессованной заготовки.

Прессованные панели имеют следующие недостатки:

1) не обеспечивается требуемая точность по размерам между стрингерами;

2) наблюдается саблевидность стрингерного набора до 1 мм на 1 погонный метр длины панели.

Все это затрудняет механическую обработку и увеличивает ее трудоемкость.

При проектировании панелей рекомендуется отдавать предпочтение профилям с сечениями вариантов 4—7 (рис. VI.3.10). Профили с сечениями вариантов 1—3 можно применять лишь в крайних случаях, так как имеющиеся на обшивке местные утолщения поверхности после формообразования обвода вызывают заметную огранку наружной поверхности.

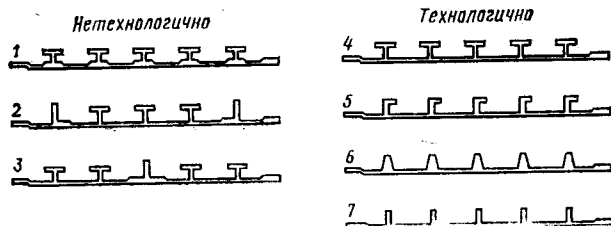


Рис. VI.3.10. Варианты профилей сечений панелей.

Рекомендуемые размеры по сечениям приведены на рис. VI.3.11.

Наиболее технологичными являются панели, отвечающие следующим условиям:

- сечение по всей длине постоянно;
- ребра стрингеров на всей длине сохраняют заданную в заготовке форму;
- все ребра по высоте находятся на одном уровне;
- количество участков, подлежащих механической обработке, минимально.

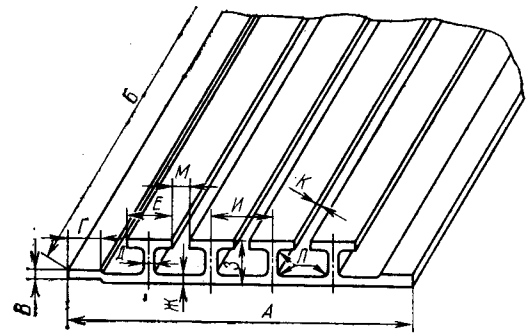


Рис. VI.3.11. Рекомендуемые размеры по сечениям панелей.

Рекомендуемые размеры прессованных панелей, мм

Б до	А до	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М
18 000	2000	Не менее 4	Не ограни- чен	Не менее 4	Не ограни- чен	Не менее 3	Не более 30	Не ограни- чен	Не менее 6	Не менее 4	Не менее 30
28 000	1000	Не менее 4	Не ограни- чен	Не менее 4	Не ограни- чен	Не менее 3	Не более 30	Не ограни- чен	Не менее 6	Не менее 4	Не менее 30

Обработка обшивки прессованной панели на клин со стороны внутренней поверхности не рекомендуется, так как эта поверхность является наиболее сложной частью панели. При обработке внутренней поверхности фрезерованием неизбежны надрезы и уступы, доводка которых чрезвычайно трудоемка. В случае необходимости обработки обшивки панели на клин рекомендуется фрезеровать ее со стороны обвода до формообразования. Допуск на толщину полотна для механической обработки должен быть не менее $\begin{matrix} +0,3 \\ -0,5 \end{matrix}$ мм.

Оборудование

Монолитные панели обрабатываются на специализированных фрезерных станках с ЧПУ. Для обработки панелей малых и средних габаритных размеров используются станки моделей ФП-7, ФП-27, ФП-37, ФП-9, ВД-3 и др.

Для обработки крупногабаритных панелей используются:

— стрингерного типа станки мод. ПФП-5С, ПФП-5СЗЗ;

— вафельного типа ПФП-5, 2ФП-242 и в перспективе станки моделей 2ФП-333, 2ФП-231 и др.

Для обработки базовых поверхностей панелей имеется специализированный станок модели УФО799. Краткие технические данные о станках приведены в таблице VI.3.2.

КРУПНОГАБАРИТНЫЕ ДЕТАЛИ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Каркасные крупногабаритные детали бывают пространственные и плоскостные. Пространственные детали имеют значительные размеры во всех измерениях, заготовки таких крупногабаритных деталей получают из магниевых сплавов путем литья в песчаные формы. Плоскостные крупногабаритные каркасные детали размером до 2000 мм выполняются из магниевых сплавов способом литья в песчаные и оболочковые формы.

Трудоемкость механической обработки пространственных каркасных деталей, отлитых в песчаные формы, из-за сложных криволинейных поверхностей требует максимального сокращения количества обрабатываемых поверхностей. Наиболее желательным видом заготовок плоскостных крупногабаритных каркасных деталей с точки зрения механической обработки являются заготовки, получаемые методом литья в оболочковые формы. Обработка деталей из таких заготовок сводится к обработке сопрягаемых поверхностей и сверлению отверстий под детали крепления.

Технологичность деталей в зависимости от формы

1. Технологичность деталей, входящих в обвод фюзеляжа, в значительной степени зависит от геометрического построения контура фюзеляжа. Не-

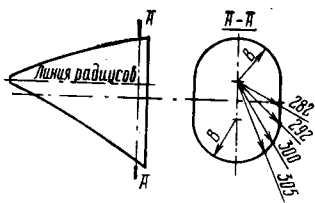


Рис. VI.3.12.

технологичными являются контуры формы эллипса и контуры, построенные с помощью радиусов-векторов из двух и более центров. Форма поверхности в этом случае задается отдельными точками и участками дуг (рис. VI.3.12).

Обработка наружного контура деталей, входящих в обвод такого фюзеляжа, производится на металлорежущих станках, имеющих сложные многокомпонентные следящие системы.

2. Конструктивная форма деталей и относительное расположение поверхностей должны обеспечивать удобство обработки и измерения всех поверхностей и мест переходов стандартными и нормальными режущими и измерительными инструментами.

3. Геометрическая форма деталей должна обеспечивать удобный ввод и вывод инструмента, врезание и «перебег» инструмента, доступность всех мест для обработки, плавность переходов.

4. Расположение обрабатываемых поверхностей должно обеспечивать возможность обработки на проход, что позволит применять высокопроизводительные режимы резания.

5. На наружных поверхностях деталей, имеющих форму тела вращения или его части, не следует делать уступов, направленных вдоль образующей тела вращения.

6. У деталей, имеющих форму, отличную от формы тела вращения, линия радиусов должна быть, по крайней мере, прямой.

7. Все несопрягаемые поверхности и поверхности, не входящие в обвод самолета, следует отливать по окончательным размерам чертежа, без последующей механической обработки.

8. Крупногабаритные сложные детали унифицировать по форме, размерам, точности обработки и материалам.

9. При проектировании необходимо предусматривать возможность наибольшего использования существующих специализированных и специальных станков, средств малой механизации, станочной и мерительной оснастки.

10. Поверхность большой протяженности заменять по возможности отдельно обрабатываемыми участками небольших размеров.

Технологичность отдельных элементов крупногабаритных деталей

1. При наличии на одной стороне отливки нескольких приливов, бобышек или платиков, требующих механической обработки, следует располагать их в одной плоскости, так как это дает возможность обрабатывать их с одной установки детали, что снижает трудоемкость и повышает точность обработки.

2. При обработке бобышек, приливов, выступов, ребер, различных отверстий, полостей, закруглений, сопряжений, уклонов и скосов исходить из требований применения нормализованного режущего инструмента.

3. Для повышения производительности и точности обработки проектировать отверстия сквозными, а не глухими.

4. В литых деталях, имеющих отверстия длиной от 3 до 5 d , следует предусматривать необрабатываемые карманы.

5. Соосные точные отверстия делать сквозными, только в этом случае обеспечиваются требования по точности и соосности отверстий и повышается производительность труда.

6. Ступенчатые отверстия делать с убывающими диаметрами с одной или с двух сторон по направлению к средней части детали.

7. Избегать применения подрезок и выточек на торцевых поверхностях отверстий и приливов с внутренней стороны стенок каркасных деталей.

8. Внутренние торцевые поверхности должны быть легкодоступными для обработки.

9. Все обрабатываемые поверхности должны иметь наиболее простую конфигурацию и четко отделены от необрабатываемых поверхностей.

10. Для устранения коробления длинных литых и нежестких заготовок в процессе механической обработки необходимо тщательно подбирать размеры сечений, плавность переходов и сопряжений стенок и ребер заготовок.

Технологические и конструктивные базы

1. В сложных отливках необходимо предусматривать соответствующие базовые поверхности в виде специальных приливов, позволяющих удобно закреплять заготовки с сохранением постоянной базы до конца технологического процесса.

2. Базовые поверхности для механической обработки проектировать так, чтобы их расположение не могло оказывать влияния на возможное смещение стержней и частей формы. Для обеспечения точности установки располагать базы возможно дальше друг от друга. При простановке размеров литейные и механические базы следует увязывать.

3. Для обеспечения наиболее широких допусков на заданные по чертежу размеры без понижения качества изделия необходимо совмещать конструктивные и технологические базы.

4. Размеры, координирующие положение различных поверхностей, задавать с учетом технологических баз.

5. Корпусные детали должны иметь хорошо развитые опорные технологические базы, обеспечивающие надежное и жесткое крепление деталей в процессе обработки резанием.

На рис. VI.3.13 показан контур носовой части фюзеляжа, построенный с помощью радиусов-векторов, причем центры правильных окружностей расположены не на оси самолета, а на некоторой наклонной прямой, называемой линией радиусов, нормальные сечения перпендикулярны оси самолета.



Рис. VI.3.13.

При обработке такого наружного контура требуется применение сложных следящих систем, так как при вращении контура относительно оси самолета происходит смещение его на некоторую переменную величину.

Пример технологичной конструкции каркаса приведен на рис. VI.3.14. Детали типа носовых каркасов с замкнутым контуром, входящие в обвод самолета и имеющие простую форму тел вращения без уступов и проемов под остекление (сечение А—А, справа) на обрабатываемой наружной поверхности, наиболее технологичны.

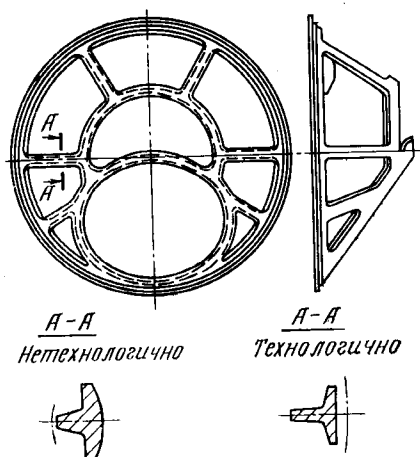


Рис. VI.3.14. Конструкция каркаса.

Ось вращения совпадает с линией радиусов, прямолинейна и соосна с осью самолета. Наличие механически обрабатываемых проемов под остекление (сечение А—А, слева) значительно усложняет технологический процесс, требует специализированного оборудования и оснастки.

На деталях типа окантовок или рам, имеющих наружную поверхность двойной кривизны (рис. VI.3.15), не должно быть углублений или подсечек, эквидистантных на-

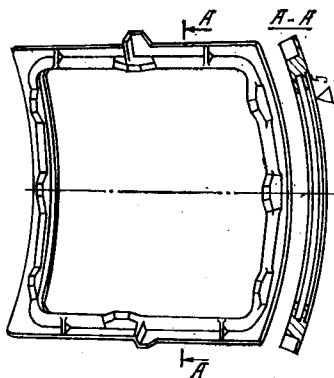


Рис. VI.3.15.

ружному контуру, так как они значительно усложняют процесс их механической обработки, снижают точность наружных обводов и затрудняют контроль обрабатываемой поверхности.

Каналы в окантовках и рамах следует располагать так, чтобы совокупность всех последовательных положений движущейся в пространстве образующей концевой фрезы находилась не на поверхности, эквидистантной наружному контуру, а на плоскости, перпендикулярной контуру. На рис. VI.3.16 показана технологичная конструкция ручки под шланг, выполненная в литье (без учета механообработки).

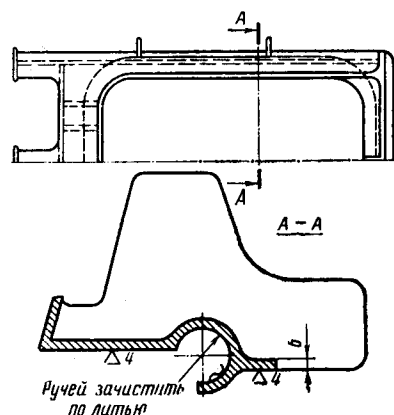


Рис. VI.3.16. Технологичная конструкция ручки под шланг, выполненная в литье.

Откидные части фонаря пилота (рис. VI.3.17) представляют собой детали очень сложной формы. Для упрощения их формы и повышения технологичности необходимо:

- 1) передние и задние дужки проектировать не криволинейными, а гранеными, то есть ограниченными прямыми участками;
- 2) продольную кривизну заменять прямолинейной образующей;
- 3) полки проемов делать без закрутки;
- 4) для облегчения установки и обработки деталей вводить разъем по оси симметрии самолета.

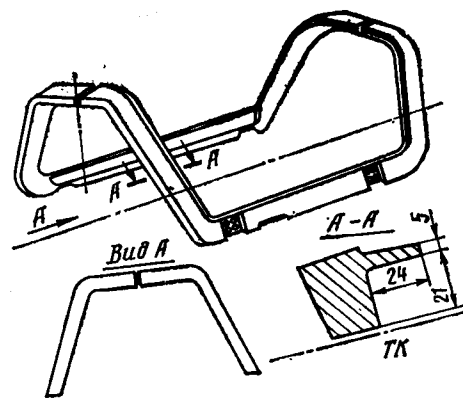


Рис. VI.3.17. Откидная часть фонаря пилота.

При соблюдении указанных требований проемы под остекление не особенно усложняют условия обработки, ее можно производить на существующих

станках. В случае криволинейного контура дужек остекление желательно крепить непосредственно по наружному контуру проемов.

Конструкция рамы фонаря, приведенная на рис. VI.3.18, обладает рядом технологических преимуществ. Рама фонаря имеет разъем по оси симметрии, стекло крепится по наружному контуру с установкой резиновой прокладки, укрепленной в механически необрабатываемом канале (осуществляется только зачистка). Наличие переменной малки по дужкам усложняет процесс механической обработки, поэтому переменную малку следует заменять осредненной постоянной.

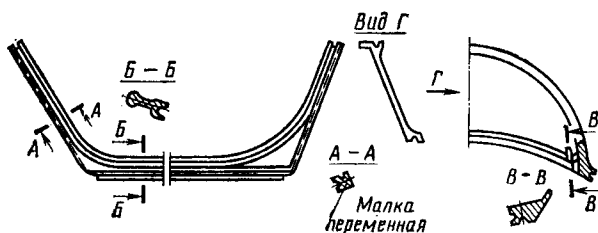


Рис. VI.3.18. Технологичная конструкция рамы фонаря.

Детали того же класса, что и откидные части фонаря пилота, приведены на рис. VI.3.19. Обработка наружной поверхности двойной кривизны не вызывает затруднений. Нетехнологичными являются механообрабатываемые проем под стекло (рис. VI.3.19, а) и канавка под шланг (рис. VI.3.19, б, по $R=3$), эквидистантные наружной поверхности и имеющие переменные малки.

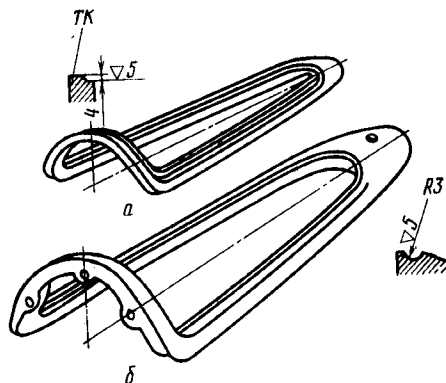


Рис. VI.3.19.

Откидная часть фонаря пилота (рис. VI.3.20) является весьма нетехнологичной деталью, так как на металлорежущем оборудовании не могут быть обработаны наружная поверхность двойной кри-

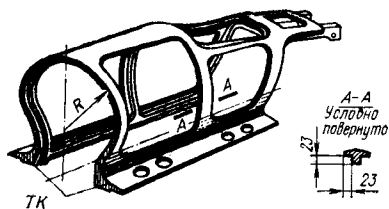


Рис. VI.3.20. Нетехнологичная конструкция откидной части фонаря пилота.

визны, переходящая в поверхность теоретического обвода фюзеляжа, и проемы под стекла, расположенные на внутренней поверхности детали и эквидистантные наружной поверхности двойной кривизны.

Для повышения технологичности деталей данного типа следует расчленять их на несколько простых деталей с тем, чтобы их можно было отливать в оболочковые формы без припусков на механическую обработку по сложным наружным поверхностям обвода.

Детали типа козырька фонаря пилота являются наиболее сложными и наименее технологичными в группе каркасных крупногабаритных деталей из магниевых сплавов (рис. VI.3.21). Козырек фонаря

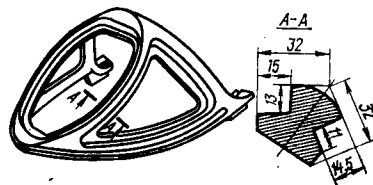


Рис. VI.3.21. Нетехнологичная конструкция крупногабаритных каркасных деталей из магниевых сплавов.

пилота (рис. VI.3.22) еще менее технологичен. Кроме сложной наружной поверхности двойной кривизны с приливами на ней, козырек имеет проемы под стекла, расположенные на внутренней поверхности эквидистантной наружной поверхности и имеющие переменные малки.

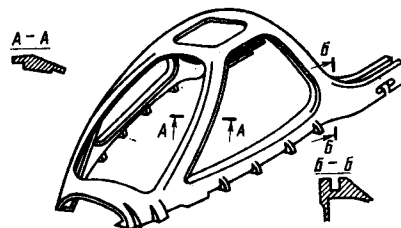


Рис. VI.3.22. Нетехнологичная конструкция козырька фонаря пилота.

Для повышения технологичности деталей этого типа необходимо:

1. Перейти от криволинейной формы наружной поверхности к граненой, тогда боковые проемы будут представлять собой обычные плоские замкнутые контуры, обработка которых не является особо сложной.

2. Снять обработку с внутреннего криволинейного контура, а в случае внутреннего крепления установку стекла производить по наружному обрабатываемому контуру.

3. Поверхность основания двойной кривизны заменить плоскостью, так как крепление козырька производится во внутренней части фюзеляжа.

Технологичность деталей типа козырька pilota в значительной степени определяется их формой. На рис. VI.3.23 приведена технологичная конструк-

ция козырька, у которого наружные стороны представляют собой плоские грани, а проемы для остекления — замкнутые контуры.

Показанная на рис. VI.3.24 конструкция воздухозаборника имеет наружную поверхность сложной формы, входящую в теоретический обвод самолета, и не может быть подвергнута механической обработке на существующем металлорежущем оборудовании.

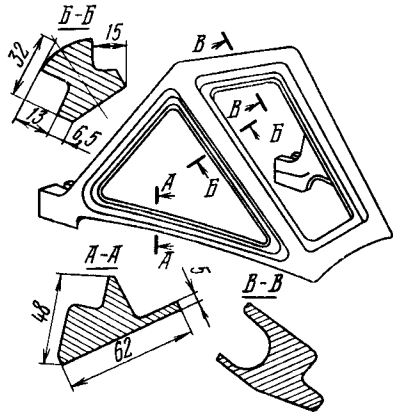


Рис. VI.3.23. Технологичная конструкция козырька фонаря пилота.

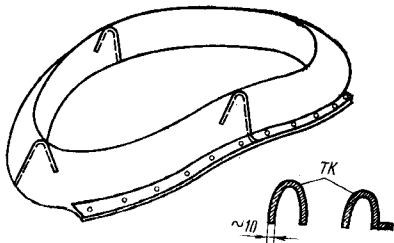


Рис. VI.3.24. Конструкция воздухозаборника.

Для повышения технологичности деталей данного класса их следует изготавливать из листового материала путем штамповки-вытяжки с подогревом.

Для механической обработки крупногабаритных каркасных и плоскостных литых деталей применяются специализированные станки моделей МА-655С5; ФН-14, ФП-11, ФП-11у и др. (см. табл. VI.3.2).

БАЛКИ И ЛОНЖЕРОНЫ

Балки и лонжероны представляют собой крупногабаритные длинномерные силовые детали коробчатой формы, таврового, полутаврового, швеллерного и других сечений, усиленных поперечными ребрами жесткости, причем элементы полков часто входят в обвод самолета. Изготавливаются балки и лонжероны из сталей 30ХГСА, 30ХГСНА, ЭИ643, ВНС-2, ВНС-5 и легких сплавов АК6, В95, В93, ВТ5, ВТ6, ВТ4, ВТ22 и др.

В процессе механической обработки деталей, особенно изготавливаемых из сплава В95, наблюдается значительное их коробление, вызываемое перераспределением внутренних напряжений. Коробление деталей, которое проявляется в форме хлопу-

нов, прогиба и скрутки, значительно усложняет их изготовление и увеличивает объем правильных и слесарно-доводочных работ.

Рекомендации по заготовкам

1. В качестве исходных заготовок для балок и лонжеронов рекомендуется применять горячие штамповки с учетом минимальной механической обработки и коэффициентом использования металла не ниже 0,35.

2. В конструкцию балок рекомендуется закладывать простую форму. Исходные заготовки применять с минимальным количеством обрабатываемых поверхностей (рис. VI.3.25).

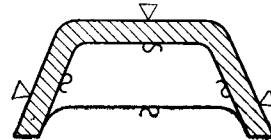


Рис. VI.3.25.

3. Контур балки, не входящий в обвод, внутренние стенки и поперечные ребра не должны подвергаться механической обработке.

4. Допуски на размеры всех не подвергающихся механической обработке элементов должны соот-

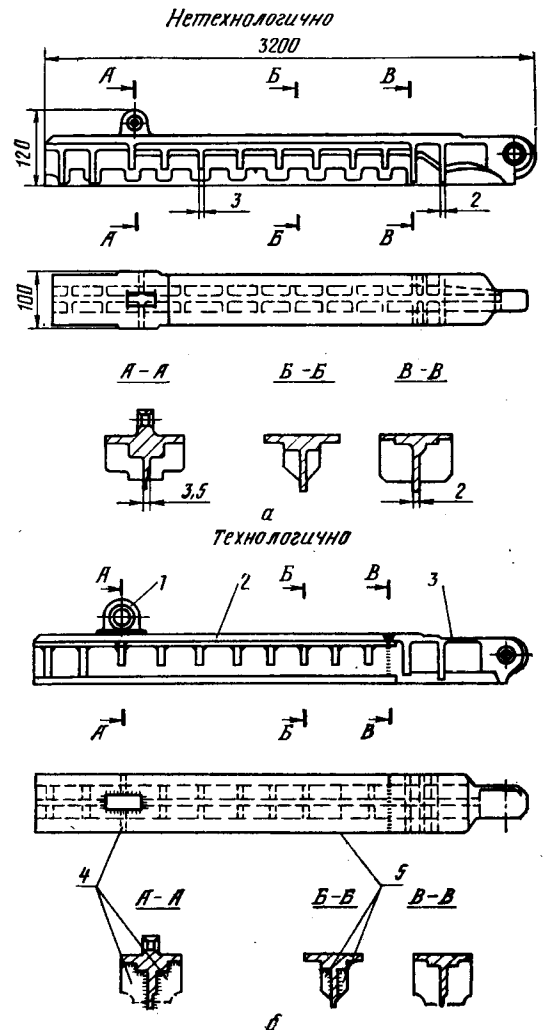


Рис. VI.3.26. Монолитная (а) и сварная (б) конструкции балок.

ветствовать допускам на заготовку (горячую штамповку, катаный или прессованный профиль и т. д.).

5. В некоторых случаях рационально применять балки сварной конструкции, что значительно сокращает объем механической обработки за счет применения прессованного профиля и горячештампованного хвостовика (рис. VI.3.26).

При одинаковых геометрических размерах монолитная балка в изготовлении намного дороже и сложнее по сравнению со сварной из-за отсутствия технологических баз и большого припуска, так как вследствие больших габаритных размеров заготовку невозможно получить точной штамповкой, что, в свою очередь, снижает коэффициент использования материала, а также из-за коробления в процессе механообработки — с увеличением снимаемого слоя металла коробление, как правило, увеличивается, для устранения его необходимы значительные затраты правильных и слесарно-доводочных работ.

Технологические требования, предъявляемые к элементам конструкции

1. Рекомендуется в чертежах проставлять размеры контуров, входящих в обвод, а не ссылаться на шаблоны с плаза (рис. VI.3.27).

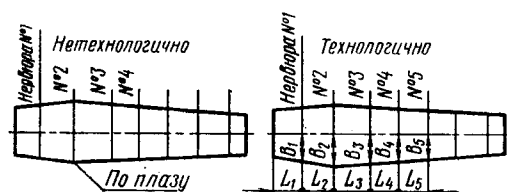


Рис. VI.3.27. Простановка размеров на контурах, входящих в обвод.

2. На балках, имеющих незначительные колебания переменной малки по контуру, желательно давать усредненную постоянную малку (рис. VI.3.28).

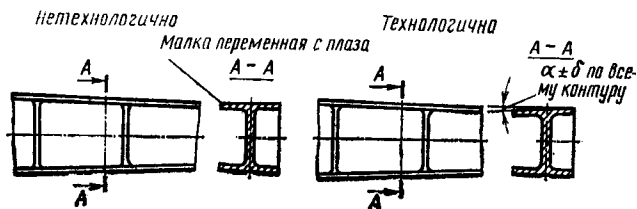


Рис. VI.3.28. Обозначение переменной малки.

3. Избегать при проектировании на внутренних контурах полок малкованные поверхности, а при необходимости делать специальный переходной уступ (рис. VI.3.29).

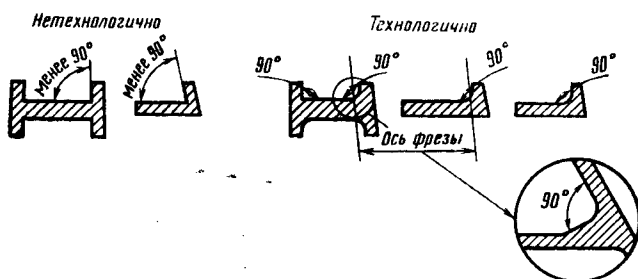


Рис. VI.3.29. Обозначение внутренних поверхностей.

4. Приливы и поперечные усиливающие ребра рекомендуется делать с одной стороны стенки (рис. VI.3.30).

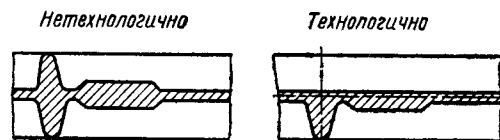


Рис. VI.3.30. Расположение приливов.

5. Не рекомендуется проектировать наклонные ребра, которые усложняют механообработку.

6. Расстояние между центрами отверстий рекомендуется проставлять не в угловых величинах, а в линейных.

7. Отверстия крепления по полкам должны быть с равным шагом и одного диаметра.

8. Радиусы в местах сопряжения, подлежащие механообработке, следует унифицировать ($R = \frac{1}{2} D$ гостированных фрез и зависит от глубины колодца $H = 1,5 D_{фр}$), рис. VI.3.31.

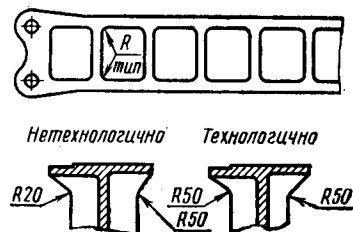


Рис. VI.3.31. Унификация радиусов.

9. В случае, если требуется меньший радиус сопряжения, предусматривать уступы, разделяющие обрабатываемые и необрабатываемые поверхности и поверхности, обрабатываемые на различных операциях (рис. VI.3.32). Это позволит значительно снизить трудоемкость детали.

10. Назначать толщину полок и ребер для деталей с большой площадью карманов не менее 2,5 мм, в противном случае в процессе механообработки появляется коробление (хлопуны), которое очень трудно устранить, а в некоторых случаях оно приводит к неисправимому браку.

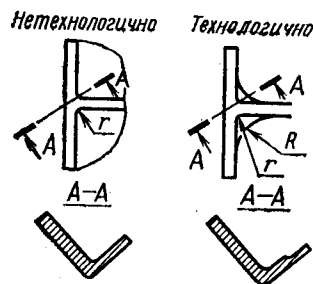


Рис. VI.3.32.

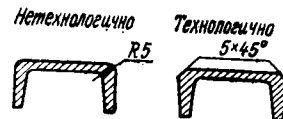


Рис. VI.3.33.

11. Допуск на толщину полок и стенок, подвергающихся механообработке, назначать по нормам 722АТ.

12. Вместо закругления наружных кромок давать фаски (рис. VI.3.33).

13. Применение упрочняющей ударно-барабанной обработки позволяет повысить класс шероховатости поверхности на 1—2 и увеличить циклическую долговечность детали в 1,5—4 раза. Применение упрочняющей обработки оговаривать в чертежах.

14. Точность обработки диаметральных размеров должна быть не выше 3-го класса.

15. Поверхность основания проушины делать прямолинейной (рис. VI.3.34).

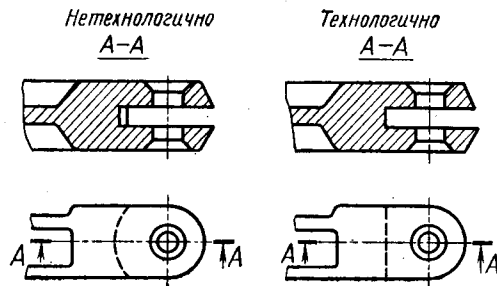


Рис. VI.3.34. Конструкция проушины.

16. Точность обработки по ширине проушины назначать не выше 4-го класса, достижение более высокого класса точности вызывает большие затраты ручного труда.

17. В случае необходимости располагать отверстия под углом, балку делать расчлененной с вклепанными или приваренными узлами (рис. VI.3.35).

18. В тех случаях, когда радиусы сопряжений определяют диаметры фрез (рис. VI.3.36), метод определения радиусов см. в рекомендациях по монолитным панелям.

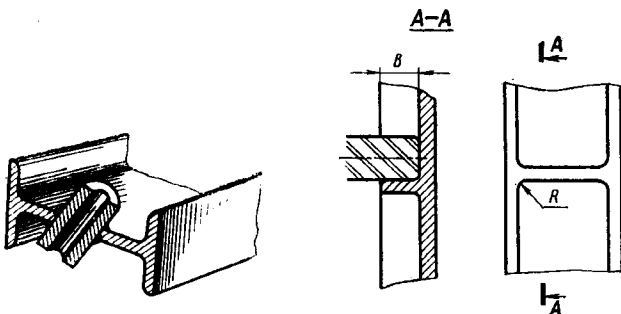


Рис. VI.3.35. Проектирование отверстий под углом.

Рис. VI.3.36. Методы определения радиусов.

Для механообработки балок и лонжеронов применяются специализированные станки моделей ВФ-3, КУ-191, ФП-37, ФП-7, ФП-7М, ФП-9М, ПФП-5, ФП-17М, 2ФП-242 и др. Краткая технико-характеристика этих станков приведена в табл. VI.3.2.

МОНОРЕЛЬСЫ

Монорельсы являются направляющими элементами для перемещения средств механизации крыла. Изготавливаются монорельсы из материалов 30ХГСНА, 30ХГСНА-ВД, 30ХГСН2А-ВД, ВТ22, ВТ5Л.

Рекомендации по заготовкам

1. В качестве исходных заготовок для монорельсов рекомендуется применять горячие штамповки с минимальным количеством поверхностей, подлежащих механической обработке, и коэффициентом использования металла 0,35—0,55.

2. Для монорельсов, длина которых больше 2000 мм, а направляющие реборды имеют радиус $R > 2000$ мм, более технологичными заготовками являются прессованные профили с законцовками. Может быть принят сварной вариант заготовки из прессованных профилей для направляющих реборд и штамповки для корневой части монорельса.

3. В конструкцию монорельсов рекомендуется закладывать простую форму и рациональные габаритные размеры с таким расчетом, чтобы можно было получать исходные заготовки с наибольшим формообразованием поверхностей детали.

4. Допуски на размеры всех не подвергающихся механообработке элементов должны соответствовать допускам на заготовки — горячую штамповку, прессованный профиль и др.

Технологические требования, предъявляемые к элементам конструкции:

1. При проектировании монорельса необходимо предусматривать координатно-фиксирующие отверстия (КФО) (рис. VI.3.37). При отсутствии возможности введения в конструкцию монорельса КФО следует предусматривать технологические приливы на выпуклой стороне монорельса (рис. VI.3.38).

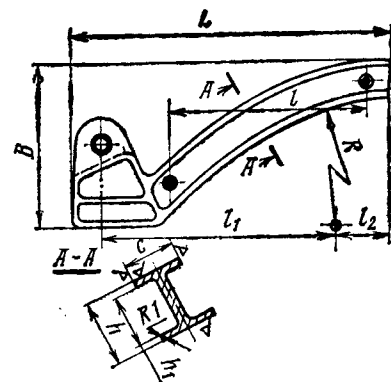


Рис. VI.3.37. Координатно-фиксирующие отверстия.

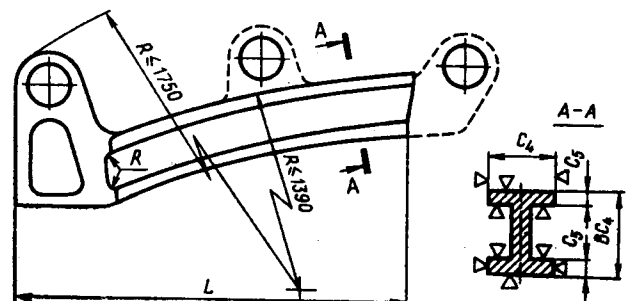


Рис. VI.3.38. Расположение технологических приливов.

2. В случае применения при обработке монорельсов технологических приливов при проектировании необходимо предусматривать канавку или выступ

по всей длине реборды, учитывая, что технологические приливы будут срезаться (рис. VI.3.39).

3. Нетехнологичной конструкцией являются монорельсы, у которых направляющие поверхности имеют переход от прямолинейного участка к радиусному или от одного радиуса кривизны к другому (рис. VI.3.40).

4. Конструкция моно-
рельсов с замкнутым
контуром между ре-
бордами должна пре-
дусматривать обниже-
ния для выхода инст-
румента (шлифо-
вального круга)
(рис. VI.3.41).

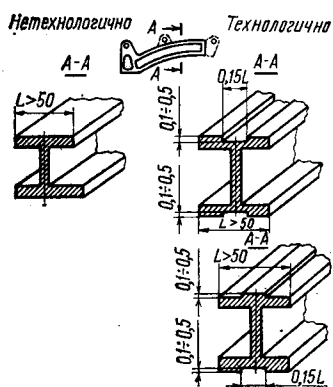


Рис. VI.3.39. Включение в конструкцию монорельса канавки или выступа.

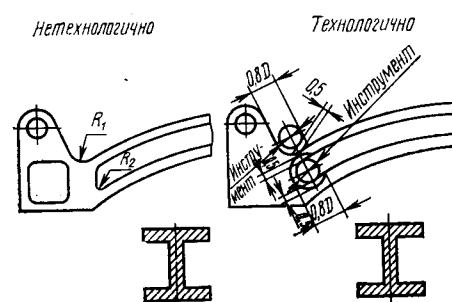


Рис. VI.3.41. Обнижения для выхода инструмента.

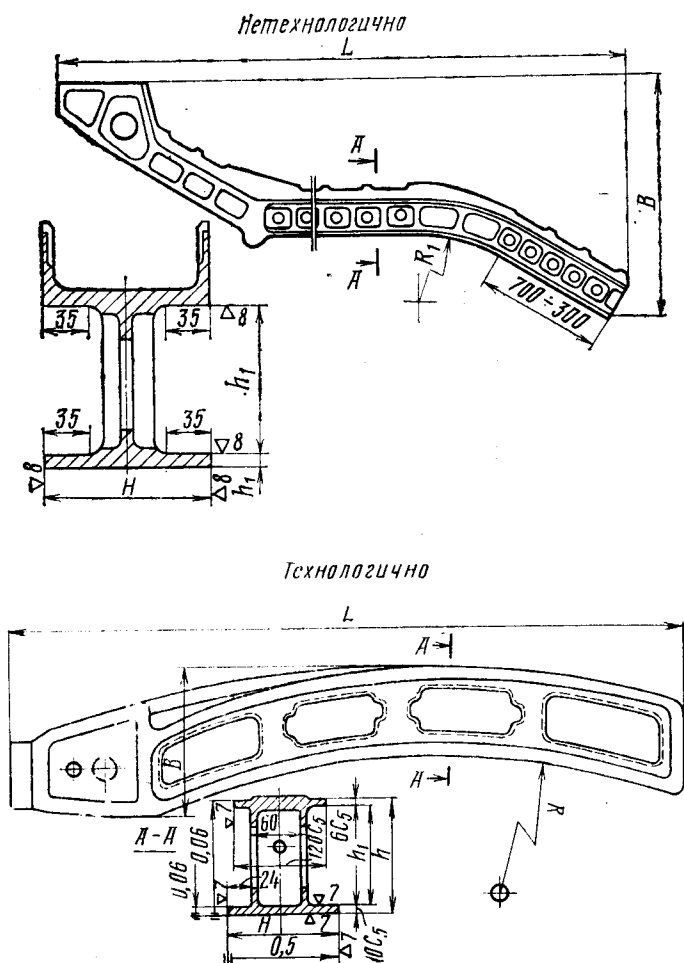


Рис. VI.3.40. Формы направляющих монорельсов.

5. При проектировании монорельсов необходимо предусматривать по наружной поверхности реборд при ширине их свыше 50 мм (см. рис. VI.3.39):

а) на ребрах с технологическими приливами — выступ или обнижение;

б) на ребрах без технологических приливов — обнижение:

в) по внутренним поверхностям реборд — участки, на длине L которых производить шлифование (рис. VI.3.42).

6. Конструкция монорельсов должна предусматривать высоту полок одного размера, так как в этом случае они могут быть использованы в качестве технологических баз (рис. VI.3.43).

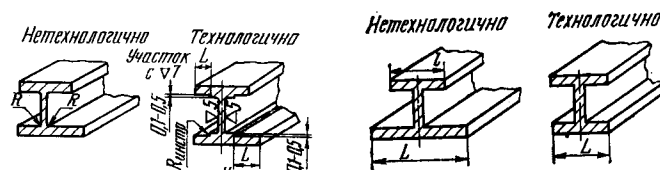


Рис. VI.3.42. Ширина шлифования по внутренним поверхностям реборд.

**Рис. VI.3.43. Высота по-
лок монорельса.**

7. Нетехнологичной конструкцией являются монорельсы, в которых фиксирующей поверхностью для боковых роликов является стенка между ребрами. Фиксирующими поверхностями в конструкции монорельсов предусматривать торцы ребер (рис. VI.3.44).

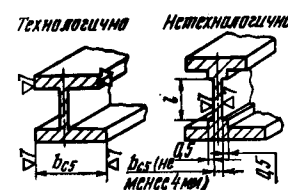


Рис. VI.3.44. Расположение фиксирующих поверхностей для боковых роликов.

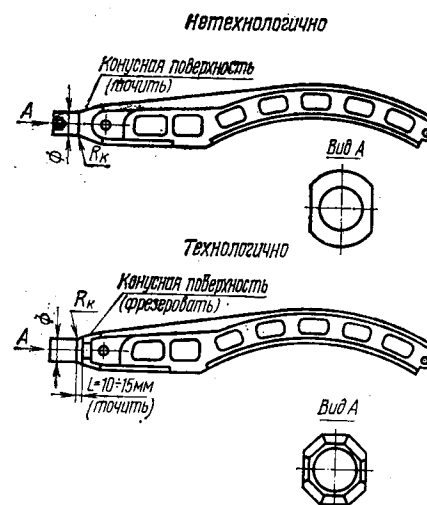


Рис. VI.3.45. Конструкция корневой части.

8. В корневой части монорельсов избегать поверхностей, требующих обработки на токарных станках (рис. VI.3.45).

9. Технологические требования к проектированию карманов и обнижений в монорельсах должны быть такими же, как и на балки.

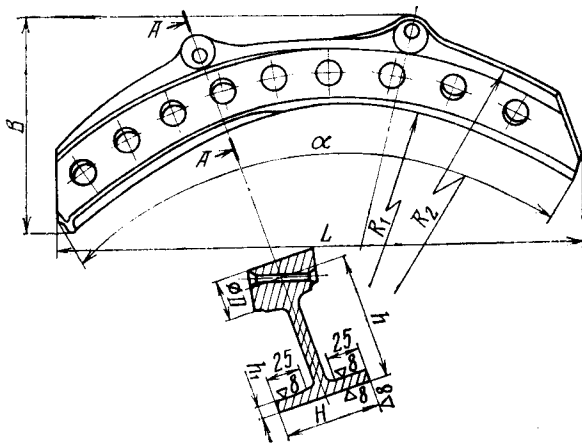
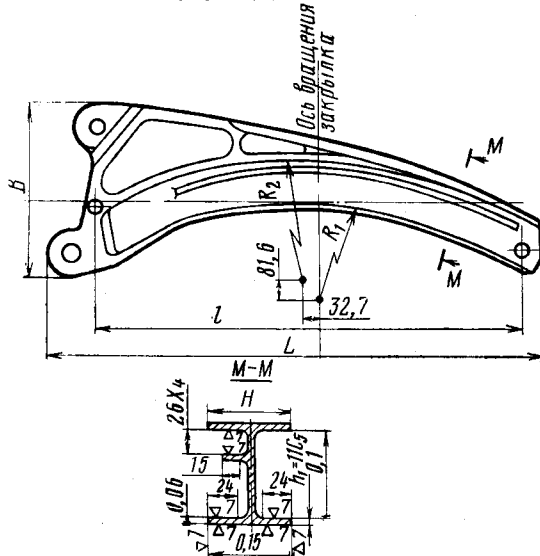


Рис. VI.3.46. Угол обрабатываемого сектора монорельса.

Нетехнологично



Технологично

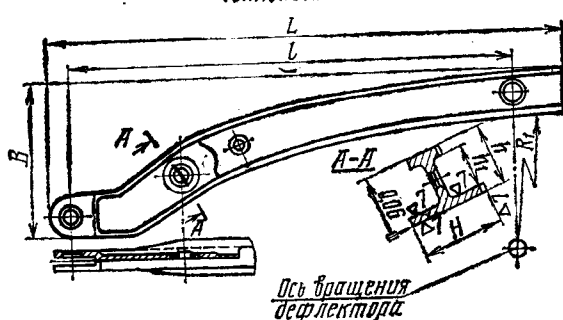


Рис. VI.3.47. Обрабатываемые пазы.

10. Угол обрабатываемого сектора монорельса не должен превышать 90° ($\alpha < 90^\circ$) (рис. VI.3.46).

11. Угол подъема спирали винтовых монорельсов не должен превышать 30° .

12. Нетехнологичным является включение в конструкцию монорельса обрабатываемых пазов шириной менее 50 мм (рис. VI.3.47).

13. Точность изготовления монорельсов (рис. VI.3.48) назначать:

а) на размеры A и B не выше 4-го класса;

б) на размер C не выше 5-го класса, а при большой кривизне реборд ($R > 2000$ мм) не выше 7-го класса;

в) на размер D не выше 7-го класса.

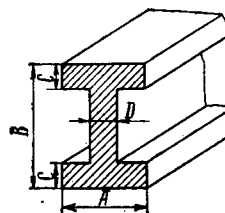


Рис. VI.3.48. Точность изготовления монорельс.

14. Шероховатость механообрабатываемых поверхностей реборд под хромирование и после хромирования назначать не выше $\sqrt{0,80}$.

Для механической обработки деталей типа монорельсов применяются специализированные станки моделей ФП-7, ФП-27, СШР-2, СШР-2Б, СШР-2В и СШР-2Г (см. табл. VI.3.2).

ШПАНГОУТЫ, РАМЫ И ИХ ДЕТАЛИ

Шпангоуты и рамы могут проектироваться и изготавливаться монолитными, сборными и сборно-сварными. Материалом для них в основном служат сталь, титановые и алюминиевые сплавы. Наиболее широко применяются стали 30ХГСА, ВНС-5; титановые сплавы ВТ14, ВТ22; алюминиевые сплавы АК6, Д16Т, В93, В95.

В качестве исходных заготовок возможны листовой прокат, плита, штамповка и литье. В некоторых случаях прессованный профиль. При выборе заготовки необходимо учитывать конструктивные габаритные размеры (ширину, длину и высоту), а также конструктивное решение элементов детали. В каждом частном случае назначение заготовки должно определяться экономической целесообразностью выбранной заготовки. Наиболее технологичными являются: листовой прокат, литье, прессованный профиль и односторонняя штамповка с растяжкой. Последняя относится только к монолитным рамам и шпангоутам из алюминиевых сплавов.

Технологические требования к конструкции деталей

1. Конструкции шпангоутов и рам следует проектировать максимально простой формы с таким расчетом, чтобы можно было получить исходные заготовки с минимальным количеством обрабатываемых поверхностей.

Коэффициент использования металла исходной заготовки должен быть не ниже 0,35, кроме деталей, изготавливаемых из плит.

2. Конструктивная форма деталей должна обеспечивать удобство обработки и измерений.

3. Монолитные конструкции шпангоутов, представляющие тела вращения, рекомендуется проек-

тировать с гладкой наружной и внутренней поверхностями вращения, без приливов, бобышек и др. Это обеспечивает их обработку на токарных станках.

Примеры технологичных и нетехнологичных конструкций деталей

На рис. VI.3.49 показана технологичная конструкция шпангоутов. В качестве исходной заготовки в данном случае предусмотрено цельнокатаное профилированное кольцо со стыковой сваркой в одном месте. Приведенная на рис. VI.3.50 конструкция силового шпангоута из стали 30ХГСА нетехнологична. Обработка предусмотренных на концах шпангоута точных отверстий со сферическими поверхностями и резьбой $78 \times 1,5$ (см. сечение В—В) очень затруднительна и возможна только на уникальном оборудовании. При наличии каких-либо дефектов в резьбе отверстий может быть также забракован весь узел. Нетехнологичность конструкции увеличивается из-за обязательной обработки нерабочих поверхностей детали.

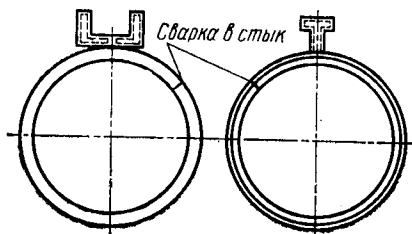


Рис. VI.3.49. Технологичные конструкции шпангоутов.

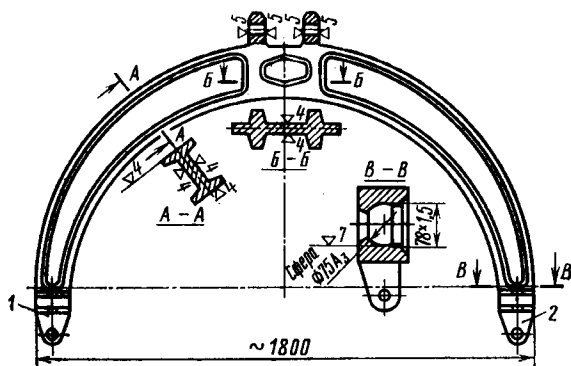


Рис. VI.3.50. Нетехнологичная конструкция силового полушпангоута.

Полная механическая обработка детали приведет к ее деформации, разводке концов 1, 2, которую при правке полностью устранить невозможно.

На рис. VI.3.51 представлена конструкция полушпангоута. Нетехнологичность конструкции на рисунке слева заключается в следующем:

1) конструкция детали типа вилки не является достаточно жесткой для механической обработки. Трудоемко (а иногда почти невозможно) обеспечить заданный размер X механической обработкой вследствие деформации элементов детали А и Б в процессе обработки;

2) высота полок 1, 2 неодинаковая, что требует создания дополнительных технологических приливов по торцам полок для обеспечения технологической базы. Одна из полок выполнена наклонной. Для обеспечения требуемой шероховатости наклонной поверхности механической обработкой требуется создание дополнительной спецоснастки или режущего инструмента.

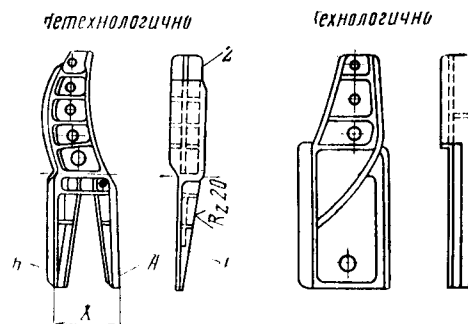


Рис. VI.3.51. Конструкция полушпангоута типа «кронштейн».

На этом же рисунке, справа, показана технологичная конструкция полушпангоута. Конструкция имеет замкнутую коробчатую форму, полки выполнены на одном уровне.

Технологические требования, предъявляемые к элементам конструкций шпангоутов и рам

1. Радиусы в местах сопряжений должны быть унифицированы. Метод определения радиусов см. в рекомендациях по монолитным панелям.

2. Малки на поверхности должны иметь размеры на чертеже без ссылки на плаз (рис. VI.3.52).

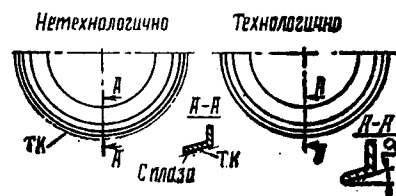


Рис. VI.3.52.

3. В местах сопряжения точеной поверхности с фрезерованной, как и в местах сопряжения обработанной и необработанной поверхностей, а также обрабатываемых на разных операциях, предусматривать уступ не менее 0,5 мм (рис. VI.3.53).

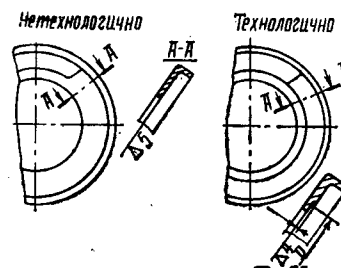


Рис. VI.3.53.

4. Не рекомендуется располагать отверстия на ступенчатой или скошенной поверхности (рис. VI.3.54), это ведет к производственным трудностям в получении точных отверстий и к поломке сверл.

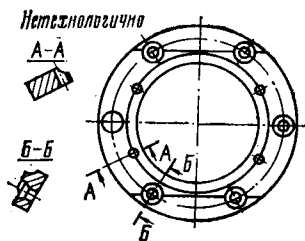


Рис. VI.3.54.

5. Толщина стенки монолитных рам и шпангоутов, а также их частей (в случае сборных конструкций) не должна быть менее 2 мм.

6. Шероховатость поверхностей сопряжения стенок с полками должна быть не выше $Rz\ 40$.

7. При обработке наклонных поверхностей (при концевом фрезеровании) допускаются гребешки (след фрезы) до 0,3 мм. При обработке наклонных полок и наклонных ребер жесткости разрешать, помимо гребешков, радиусную поверхность или применять другое конструктивное решение (рис. VI.3.55; VI.3.56).

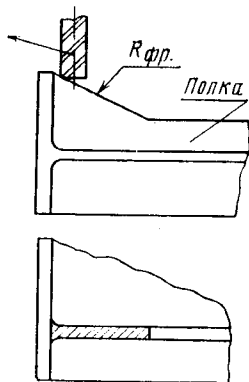


Рис. VI.3.55.

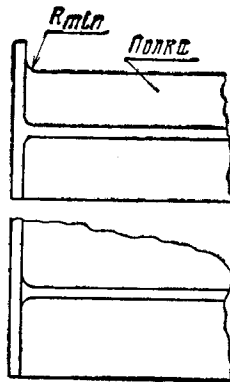


Рис. VI.3.56. Наклонная полка заменена прямой.

8. Не следует предусматривать высокую шероховатость несопрягаемых поверхностей (рис. VI.3.57; VI.3.58).

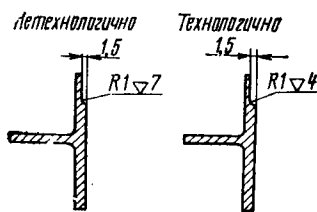


Рис. VI.3.57.

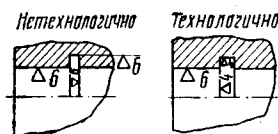


Рис. VI.3.58.

9. Расположение отверстий на поверхности вращения следует давать в градусах, а не в линейных размерах (рис. VI.3.59).

10. Расстояния между отверстиями на полках должны быть одинаковыми или кратными.

11. Для повышения усталостной прочности рекомендуется детали упрочнять существующими методами. В чертеже необходимо дать ссылку на требования к условиям упрочнения.

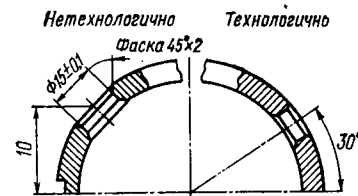


Рис. VI.3.59. Расположение отверстий на поверхности вращения.

12. На поверхности с теоретическим контуром давать координатную сетку размеров, необходимую для расчета программ под обработку контура на станках с ЧПУ.

ДЕТАЛИ УЗЛОВ ПОВОРОТА

В узлах поворота наибольшую трудоемкость по механообработке представляют силовые детали. К основным силовым деталям подвижных и неподвижных частей узлов поворота относятся панели и балки (лонжероны), которые изготавливаются из стали марок 30ХГСНА-ВД, 30ХГСНА, ВНС-2 и ВНС-5. Исходными заготовками являются горячие штамповки, плиты и поковки.

Требования, предъявляемые к основным силовым деталям узлов поворота

При проектировании силовых деталей узлов поворота — панелей и балок (лонжеронов) — необходимо учитывать следующее.

1. Высота деталей должна быть минимальной для получения более рациональной заготовки, так как в этом случае повышается коэффициент использования материала и снижается объем механообработки (рис. VI.3.60).

2. Ребра жесткости располагать перпендикулярно стенке, что исключит применение специнструмента и сократит объем слесарно-доводочных работ (рис. VI.3.61).

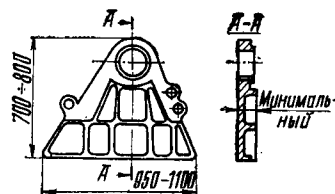


Рис. VI.3.60. Пример выбора рациональной заготовки.

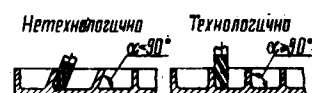


Рис. VI.3.61. Расположение ребер жесткости по отношению к стенке.

3. При определении геометрии кармана или колюда рекомендуется выполнять требования, предъявляемые к большинству деталей, обрабатываемых резанием (см. общие рекомендации).

4. Не создавать утолщений на ребрах жесткости, что значительно сократит трудоемкость изготовления детали, а также номенклатуру специального режущего инструмента (рис. VI.3.62).

5. Поверхности деталей выполнять в виде плоскостей. Это улучшает технологические базы, в результате повышается качество деталей, уменьшаются затраты труда, не требуется создание сложной оснастки и специального оборудования (рис. VI.3.63).

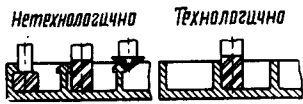


Рис. VI.3.62. Пример сокращения трудоемкости изготовления детали.

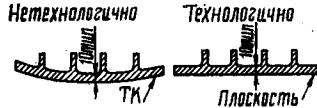


Рис. VI.3.63. Пример технологичного расположения технологических баз.

6. Сопряжение ступенчатых поверхностей, обрабатываемых фрезерованием, должно производиться по радиусам, соответствующим нормализованному инструменту (см. общие рекомендации). По всей поверхности иметь один и тот же радиус.

Изготовление фрез с большими радиусами перехода весьма сложно, а сам инструмент имеет незначительную стойкость (рис. VI.3.64).

7. Места сопряжений, обрабатываемые в узле после сварки, выполнять по кольцевым поверхностям, так как высокие требования (точность отверстий, шероховатость поверхности и неперпендикулярность торцов), предъявляемые к этим узлам, можно выполнить только при обработке детали на станке с одного установка (рис. VI.3.65).

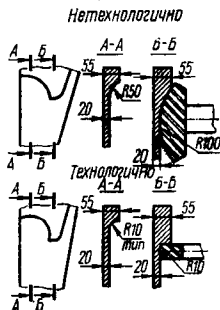


Рис. VI.3.64. Пример сопряжения ступенчатых поверхностей.

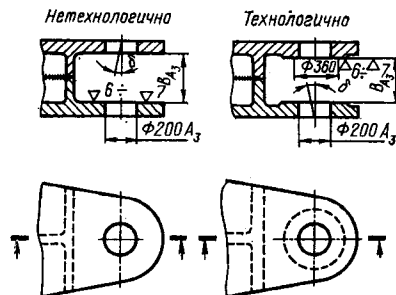


Рис. VI.3.65. Выполнение мест сопряжений, обрабатываемых в узлах после сварки.

Допускается выполнение торцевых поверхностей в виде плоскости, ограниченной частью окружности, но в этом случае шероховатость поверхностей и точность участков при входе режущего инструмента должны быть занижены (рис. VI.3.66).

8. Поверхность силовых узлов под стыковую сварку предусматривается располагать в одной плоскости, что

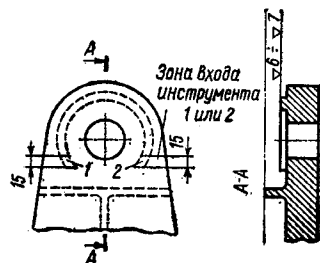


Рис. VI.3.66. Выполнение торцевых поверхностей.

дает возможность применять сварочные автоматы, особенно это важно при назначении электронно-лучевой сварки (ЭЛУ), рис. VI.3.67.

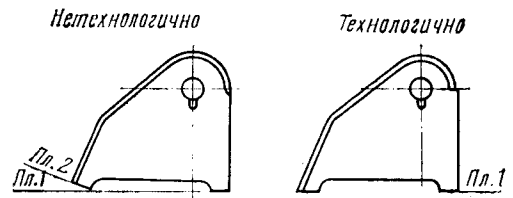


Рис. VI.3.67. Расположение поверхностей под стыковую сварку.

9. Все фасонные поверхности (шлицы, шпоночные канавки и др.) необходимо проектировать на отдельных небольших деталях, которые впоследствии войдут в общую конструкцию узла (рис. VI.3.68).

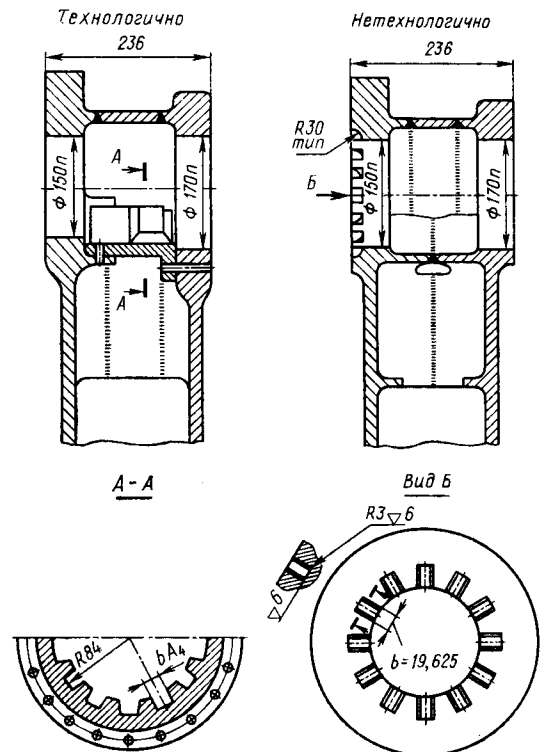


Рис. VI.3.68. Пример проектирования фасонных поверхностей (шлиц, шпоночных канавок).

10. Размеры деталей желательно задавать в пределах возможности их обработки на существующих металлорежущих станках.

11. Конструкции узлов поворота должны быть максимально сборочными или сборно-сварными, поверхности их не должны доводиться методом шлифования, хонингования и другими финишными операциями.

ДЛИННОМЕРНЫЕ ДЕТАЛИ ИЗ ПРЕССОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Рекомендации по заготовкам

1. Для изготовления длинномерных деталей типа поясов лонжеронов, поясов нервюр и стрингеров в качестве заготовок следует применять прессованные профили по существующим нормам. При

выборе заготовки необходимо учитывать, чтобы механическая обработка была минимальной.

В настоящее время металлургическими заводами освоено производство прессованных профилей самых разнообразных форм как из стальных, так и цветных сплавов. Освоено также производство сложных специальных профилей из легких сплавов с продольными отверстиями малого диаметра в длинных деталях (петлях и др.); простых профилей переменного сечения, прессуемых без припусков на механическую обработку; профилей с законцовками, требующих механической обработки только законцовок.

Применение прессованных профилей снижает объем механической обработки в 3—5 раз и уменьшает отходы металла в 4—5 раз.

2. В качестве заготовок для поясов лонжеронов и стрингеров переменного сечения применять прессованные профили переменного сечения.

3. При проектировании деталей из магниевых сплавов и стали в качестве исходных заготовок применять прессованные профили постоянного и переменного сечения без последующей механической обработки.

Допуски на размеры необрабатываемых сечений должны соответствовать допускам на прессованные профили.

Технологичность отдельных элементов деталей

1. Изменение размеров по сечениям деталей должно быть постепенным, без скачков, в сторону повышения или понижения (рис. VI.3.69). Допускается понижение размеров с переходными горизонтальными участками (рис. VI.3.70), это упрощает получение заготовок с переменным сечением.

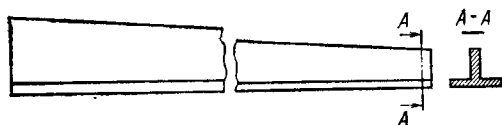


Рис. VI.3.69.

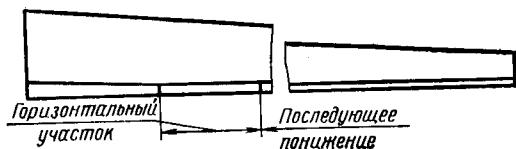


Рис. VI.3.70.

2. Желательно, чтобы перепады размеров толщины a по сечениям детали были одинаковыми (рис. VI.3.71), это упрощает получение заготовки с минимальной последующей механической обработкой по сечениям или без последующей механической обработки по сечениям вообще.

3. При проектировании поясов лонжеронов и стрингеров необходимо учитывать обработку их по сечениям на специализированных продольных копирующе-фрезерных станках моделей КУ-191 (станках типа ПКФ) с использованием фильерных приспособлений.

В перспективе предусматривается обработка на высокопроизводительных многокоординатных специализированных продольно-фрезерных станках с ЧПУ моделей: ПФПК-5, 2ФП-242 и др.

4. Обработка поясов лонжеронов и стрингеров в фильерных приспособлениях требует двух базовых плоскостей — горизонтальной и вертикальной или наклонной к горизонтальной плоскости под углом (рис. VI.3.72). Базовые плоскости должны быть гладкими и без уступов по длине профиля.

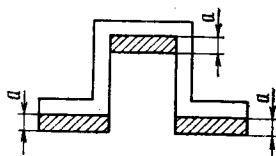


Рис. VI.3.71.

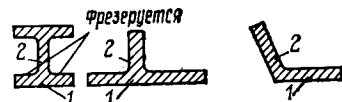


Рис. VI.3.72.

1, 2 — базовые плоскости.

Следует учитывать, что обработка в фильерных приспособлениях снижает трудоемкость фрезерования поясов и стрингеров в 4—5 раз.

5. При обработке длинномерных деталей на гидрокопировальных станках со следящей системой вырезы в полках делать не более 45° (рис. VI.3.73) с радиусом в местах перехода не менее 10 мм.

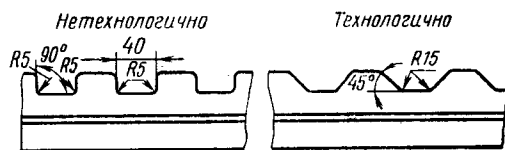


Рис. VI.3.73.

6. Унифицировать размеры радиусов сопряжения вырезов, подсечек и других элементов для всей группы однотипных деталей (рис. VI.3.74).

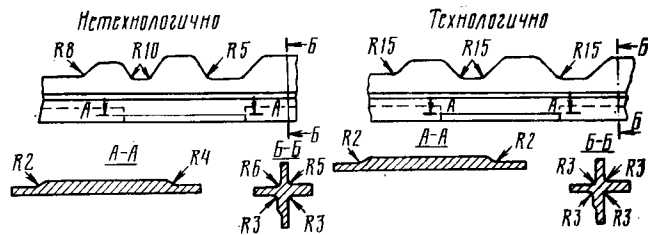


Рис. VI.3.74.

7. Диаметры отверстий на ребрах и полках и расстояние между их осями назначать по возможности одинаковыми или с кратным шагом (рис. VI.3.75).

8. В чертежах на пояса лонжеронов и стрингеры, изготавливаемые из прессованных профилей, давать исходное сечение профиля-полуфабриката.

9. В случае, если необходимо срезать полку по высоте или фрезеровать по толщине ребра и полки,

невозможности применения в качестве исходных заготовок для деталей подобного типа прессованных профилей.

19. Предусматривать у деталей типа лент и поясов одну гладкую базовую плоскость или плоскость с уступами, расположенными в одной плоскости (рис. VI.3.83).

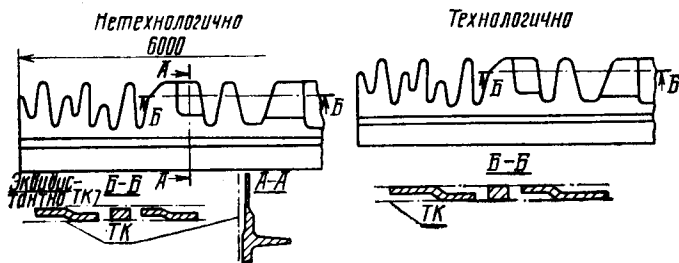


Рис. VI.3.83.

20. В малонагруженных конструкциях рекомендуется применять сварку, если профильная часть заканчивается законцовками. Пример такой конструкции показан на рис. VI.3.84. В этом случае основная стеблевая часть делается из прессованного профиля.

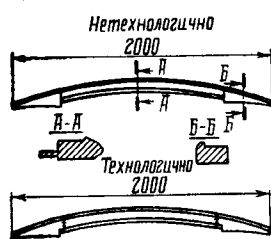


Рис. VI.3.84.

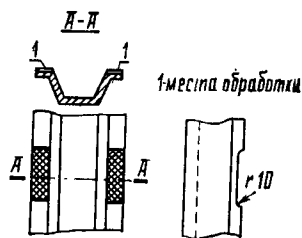


Рис. VI.3.85.

21. Подсечки и уступы на обеих полках профиля проектировать одинаковыми по размерам и расположению, что позволит фрезеровать их за один проход (рис. VI.3.85).

Простановка размеров, шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей

1. Проставлять размеры от элементов конструкции деталей и избегать простановки размеров от теоретических линий, находящихся вне контура детали (рис. VI.3.86; VI.3.87).

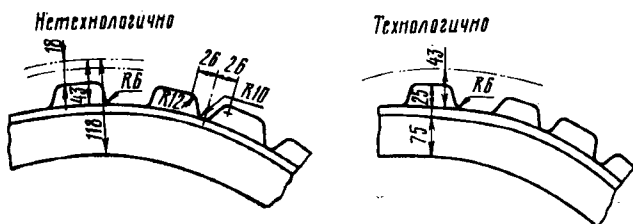


Рис. VI.3.86.

2. В чертежах на длинномерные детали (пояса лонжеронов и стрингеры) указывать длину детали и развертки, а также диаметры всех отверстий. Ссылку на теоретические чертежи и плазы давать только в исключительных случаях.

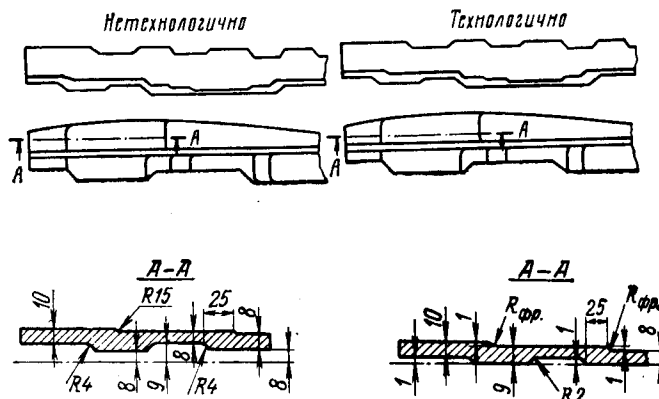


Рис. VI.3.87.

3. В чертежах на пояса необходимо указывать: а) точку К, вокруг которой происходит поворот образующей фрезы при фрезеровании поверхности с переменной малкой (рис. VI.3.88);

б) таблицы значений малок по сечениям; в) толщину полок и ребер в промежуточных сечениях;

г) допуски на толщину полок и ребер: при обработке полки с двух сторон допуск назначать не менее $\pm 0,3$ мм, при обработке с одной стороны — равным половине допуска на профиль;

е) допуски на глубину подсеки не менее $\pm 0,2$ мм;

ж) допуски на длину не менее ± 1 мм;

4. В чертежах на стрингеры следует указывать (рис. VI.3.89):

а) допуск на размер А под стык не менее $+0,3$ мм;

б) допуск на длину L не менее ± 1 мм;

в) допуск на разностенность вертикальных полок до $+0,5$ мм.

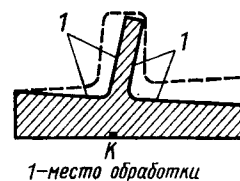


Рис. VI.3.88.

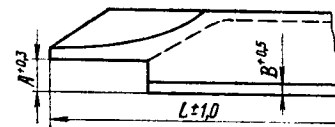


Рис. VI.3.89.

5. Шероховатость обработанных поверхностей $Rz 20$ в местах сопряжения должна быть не менее $\sqrt{\quad}$ (высота неровностей не менее 10—20 мкм), а на остальных обрабатываемых местах — не менее $\sqrt{\quad}$ (высота неровностей Rz не менее 20—40 мкм).

6. Точность обработки должна быть на посадочные размеры не выше 3-го класса, на свободные размеры по 5-му классу, а на длину по 7-му классу.

7. Для лонжеронов вертолетов рекомендуется предусматривать заготовки из алюминиевых прессованных профилей.

8. В конструкциях лонжеронов вертолета (рис. VI.3.90) избегать применения переменных теоретических контуров на разных участках длины. Обработка таких лонжеронов связана с большой сложностью и высокой трудоемкостью механической обработки.

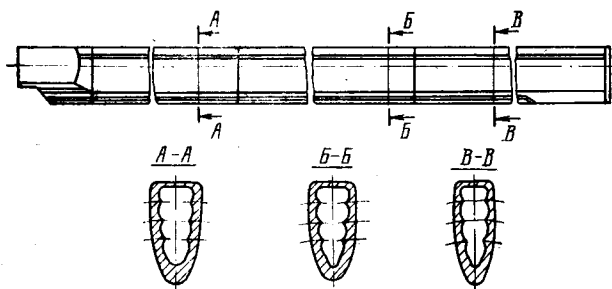


Рис. VI.3.90.

Постоянный осредненный теоретический контур позволит фрезеровать наружную поверхность двумя фасонными фрезами (для верхнего и нижнего контуров на специализированных станках типа КУ-191).

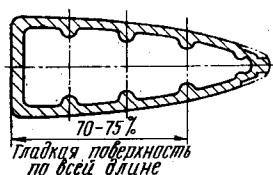


Рис. VI.3.91.

9. Желательно, чтобы одна из теоретических поверхностей лонжерона вертолета (верхняя или нижняя) была гладкой, без уступов по длине, и имела постоянный профиль или постоянную часть профиля (70—75%) по периметру (рис. VI.3.91). Такие лонжероны можно обрабатывать в фильерном приспособлении на высокопроизводительных станках типа

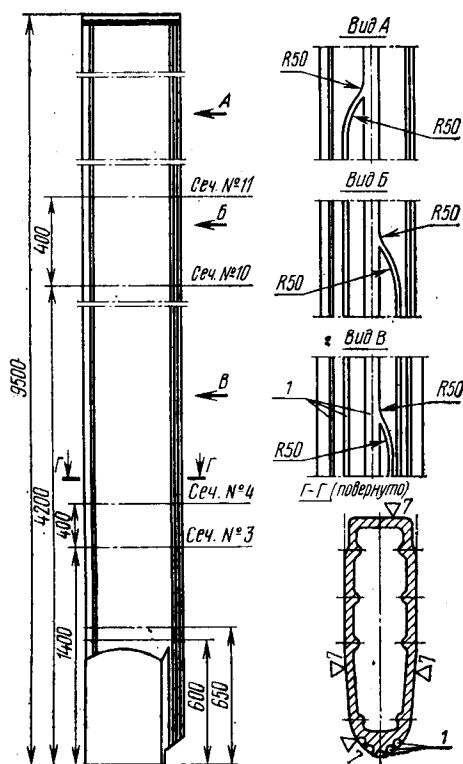


Рис. VI.3.92.

КУ-191 (ПКФ) или на специализированных многокоординатных станках с ЧПУ модели ПФП-5.

10. Не рекомендуется проектировать на поверхности лонжеронов вертолетов антиобледенительные канавки (рис. VI.3.92).

В конструкциях следует предусматривать антиобледенительные покрытия или электронагрев.

11. Точность по разностенности лонжеронов вертолетов по всей длине не должна быть выше $\pm 0,4$ мм.

12. Шероховатость поверхности теоретического контура лонжеронов вертолетов должна быть не менее $\sqrt{2,5}$ (среднее арифметическое абсолютных значений Ra профиля не менее 1,25—2,5 мкм).

Оборудование

Для механической обработки длинномерных деталей типа поясов лонжеронов, стрингеров применяются специализированные станки. При обработке деталей переменного сечения и с переменной малкой применяются продольные копировально-фрезерные станки модели КУ-191 и КУ-238. Кроме того, в последнее время широкое применение при обработке длинномерных деталей сложной конфигурации нашли 4-координатные специализированные продольно-фрезерные станки с ЧПУ модели ПФП-5. В перспективе предусмотрен перевод обработки подобных деталей на продольно-фрезерный 5-координатный специализированный станок с ЧПУ модели ПФП-5, имеющий возможность обрабатывать длинномерные детали переменного сечения и с переменной малкой, входящие в аэродинамический обвод, длиной до 30 м.

Обработка деталей на копировально-фрезерных станках модели КУ-191 осуществляется путем механического копирования. В процессе обработки портал станка перемещается вместе с люлькой вдоль детали, в свою очередь люлька получает два движения (вертикальное и угловое), которые задаются с помощью жестких копиров. На люльке находятся две горизонтально-фрезерные головки, в которые закрепляется цилиндрическая фреза необходимой ширины.

В процессе обработки сложных малкованных длинномерных деталей на специализированных продольно-фрезерных станках с ЧПУ модели ПФП-5 портал перемещается вдоль неподвижного стола. На каждом портале установлено по две фрезерные головки, одна из которых имеет возможность перемещаться поперек стола (поперечное движение). Вертикальное перемещение осуществляется за счет выдвижения пиноли. Вторая головка имеет три перемещения: поперечное, вертикальное и угловое. Все движения обеих головок на каждом портале задаются системой числового программного управления (программоноситель: магнитная лента).

Совмещение трех движений (продольного, вертикального и углового) инструмента как на гидроконтрольных станках со следящей системой, так и на станках с ЧПУ позволяет получать необходимые геометрические размеры детали.

Для изготовления деталей относительно небольшой длины (до 3 м) с постоянной малкой можно применять специализированные трехкоординатные вертикально-фрезерные станки с программным управлением ФП-7 и ФП-7М, причем работы производятся специальными фрезами.

Краткая техническая характеристика вышеперечисленных станков приведена в табл. VI.3.2.

В перспективе предполагается создать продольно-фрезерный двухпортальный 5-координатный двухголовочный станок с ЧПУ модели ПФПК-5 (базовая модель). На каждом портале установлено по две головки, причем одна из них — 4-координатная люлька, состоящая из двух шпиндельных узлов с горизонтальной осью, а вторая — 5-координатная с вертикальной осью расположения шпинделя. Такое конструктивное решение оборудования позволит выполнять все основные фрезерные операции по обработке длинномеров с минимальным количеством перестановок в автоматизированном режиме.

ПРОФИЛИ РАЗЪЕМОВ

Профили разъема являются основными силовыми элементами крепления агрегатов крыла (СЧК, ОЧК) и представляют собой сложные, монолитные конструкции переменного сечения, наружная поверхность которых входит в обвод агрегата.

Рекомендации по заготовкам

1. В настоящее время профили разъемов изготавливаются из легких сплавов Д16Т, В93. Материал В95 не следует применять, так как он требует специальных условий обработки (см. инструкцию ВИАМ 1021—73 по обработке деталей из материала В95), а поковки материала при термической, механической и других обработках не позволяют качественно изготовить детали этой группы.

2. Заготовками для профилей разъемов предусматривать прессованные профили, приближенные к конфигурации окончательных сечений деталей в состоянии поставки ТО и подверженные правке растяжением.

Технологические припуски и технологические базы для крепления определять в каждом конкретном случае с привлечением технологов по механической обработке (рис. VI.3.93).

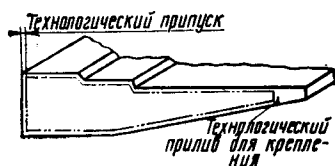


Рис. VI.3.93.

3. Коэффициент использования металла по профилям разъема должен быть не менее 0,4—0,6.

Технологичность отдельных элементов конструкции деталей

1. Избегать проектирования профилей разъема сложной формы с тонкими продольными ребрами

жесткости (рис. VI.3.94—VI.3.97). Применять более простые конструкции с учетом минимальной механической обработки (рис. VI.3.98, VI.3.99).

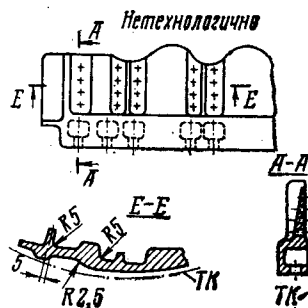


Рис. VI.3.94.

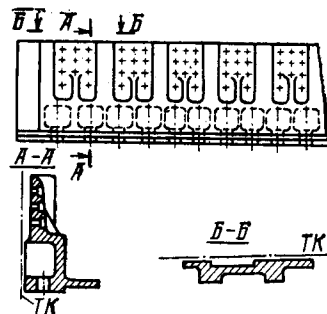


Рис. VI.3.95.

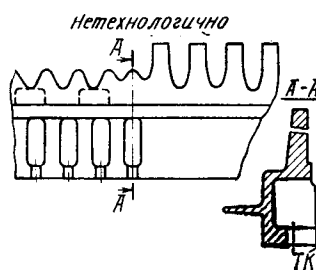


Рис. VI.3.96.

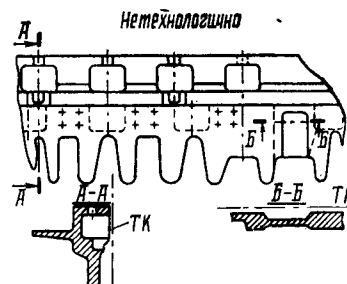


Рис. VI.3.97.

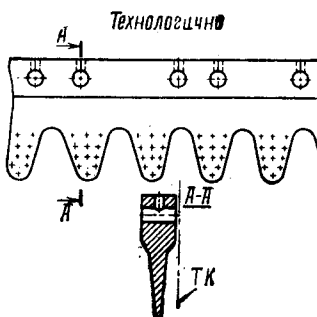


Рис. VI.3.98.

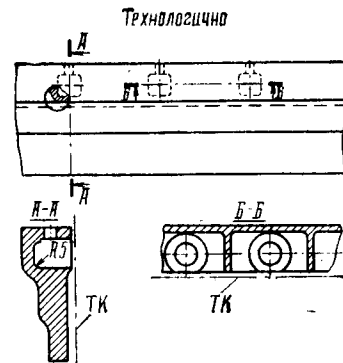


Рис. VI.3.99.

2. Вместо стыковых колодцев рекомендуется применять отверстия (рис. VI.3.100). Технологичным является расположение отверстий перпендикулярно строительной плоскости крыла.

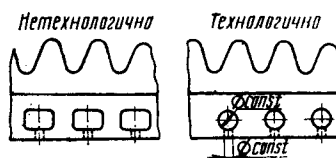


Рис. VI.3.100.

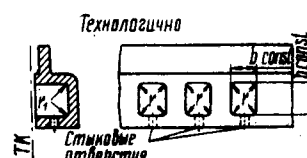


Рис. VI.3.101.

3. Колодцы проектировать одинаковой геометрической формы и одинаковых размеров на одной детали (желательно во всех однотипных гребенках) с одинаковыми радиусами в углах контура колодца и дна колодца (рис. VI.3.101).

4. Стенки колодцев, должны быть параллельны, без уклонов (рис. VI.3.102), что резко снижает трудоемкость механической обработки.

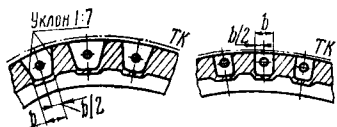


Рис. VI.3.102.

5. Колодцы (отверстия) располагать перпендикулярно строительной плоскости крыла или по усредненному наклону относительно строительной плоскости крыла для нескольких карманов (рис. VI.3.103) в целях обработки детали с одного установа на станках с ПУ.

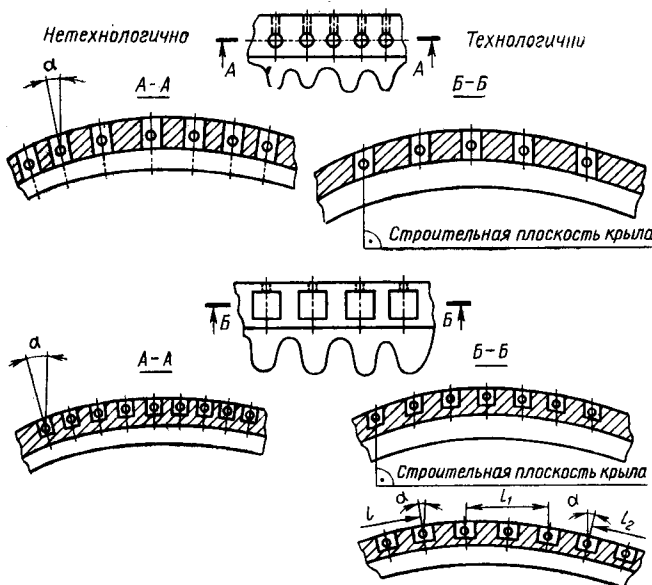


Рис. VI.3.103.

6. При проектировании деталей с обнижениями в хвостовой части не предусматривать ступенчатую поверхность на обеих плоскостях ребра. Одна из плоскостей должна быть гладкой, без уступов (рис. VI.3.104).

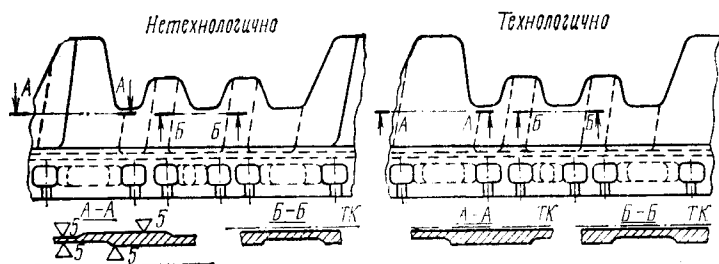


Рис. VI.3.104.

7. Не проектировать профилей разъемов с глубоким пазом и тонкими боковыми стенками вдоль всей гребенки (рис. VI.3.105). При необходимости предусматривать гладкий паз без уступов на внут-

ренней поверхности. Обработка уступов на внутренней поверхности стенок является малопроизводительной и очень трудоемкой операцией.

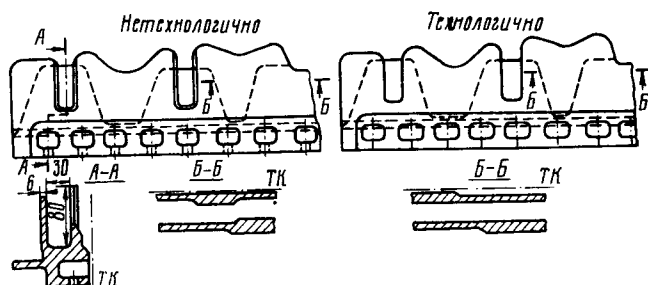


Рис VI.3.105.

8. Стыковые отверстия в колодцах следует проектировать одного диаметра (см. рис. VI.3.100).

9. Радиусы подсечек на однотипных гребенках должны быть одинаковыми (рис. VI.3.106).

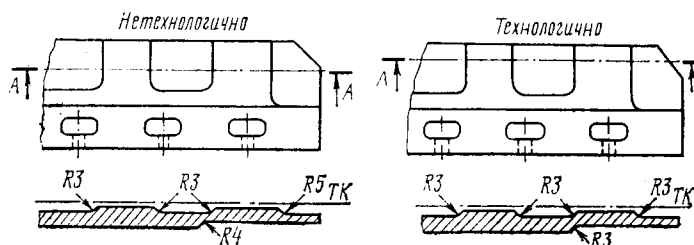


Рис. VI.3.106.

10. На профилях разъема и стыковых лентах желательно давать усредненную малку вместо переменной. На переменных малках указывать их значения в разных сечениях профиля (по таблице на чертеже), не ссылаясь на теоретический чертеж или плаз.

11. Следует избегать поперечных ребер жесткости, так как это препятствует применению в качестве исходной заготовки пресованных профилей и, следовательно, ведет к увеличению объема механической обработки (рис. VI.3.107).

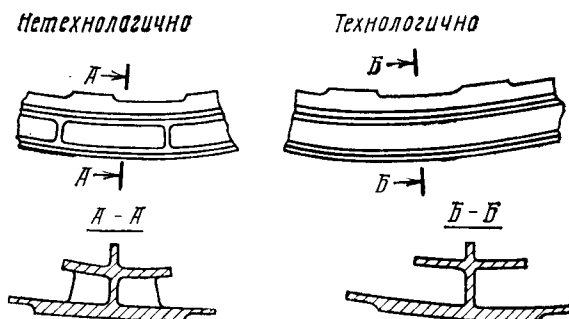


Рис. VI.3.107.

12. При проектировании деталей типа стыковых лент и стыковых гребенок следует избегать подсечек и уступов на плоскости гребня, так как это затрудняет использование этой плоскости в качестве базовой при обработке (рис. VI.3.108).

13. Следует избегать применения двухрядных стыковых гребенок и лент. Рекомендуется использовать вместо них сборные узлы. Обработка моно-

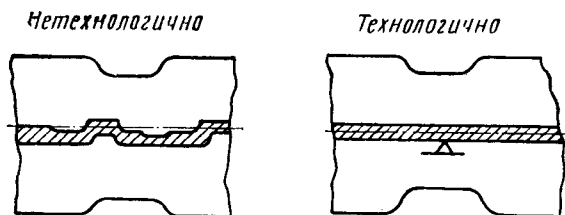


Рис. VI.3.108.

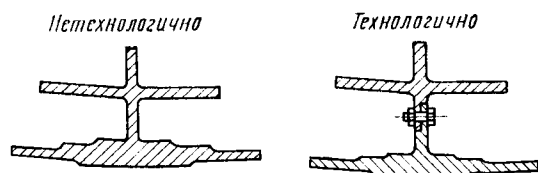


Рис. VI.3.109.

литных двухрядных гребенок и лент осложнена из-за отсутствия свободного доступа при обработке закрытых малок (рис. VI.3.109).

Простановка размеров, шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей

1. В чертежах на профили разъемов необходимо указывать углы скрутки профиля разъема, размер стрелы прогиба на гнутых гребенках, длину развертки гребенки, расстояния между осями стрингеров и отверстиями крепления стрингеров, диаметры отверстий (ссылаться на сборочные чертежи и планы можно только в исключительных случаях).

2. Необходимо указывать допуск на непараллельность плоскостей *A* и *B* после скрутки (рис. VI.3.110). Практическая точность получения параллельных плоскостей *A* и *B* на имеющемся оборудовании $\pm 0,2$ мм.

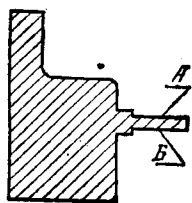


Рис. VI.3.110.

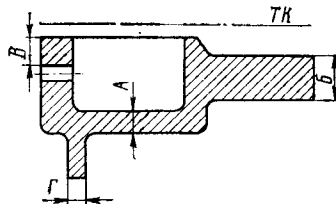


Рис. VI.3.111.

3. В чертежах на профили разъемов необходимо указывать допуски на толщину следующих элементов конструкции (рис. VI.3.111): доньшка (размер *A*); хвостовой части (размер *B*); перемычки отверстия (размер *B*); бурта (размер *Г*), а также на ширину колодцев.

4. Шероховатость обработанных поверхностей $R_z 20$ в местах сопряжения должна быть не менее $\sqrt{\quad}$ (высота микронеровностей R_z не менее 10—20 мкм), а на остальных обрабатываемых поверхностях — $R_z \sqrt{\quad}$ (высота микронеровностей R_z не менее 20—40 мкм).

5. Точность обработки на все свободные размеры толщины должна быть не выше 5-го класса, на длину — по 7-му классу.

Оборудование

Для обработки наружных поверхностей (теоретического контура) профилей разъема применяются копируемые продольно-фрезерные станки модели КУ-191 и др.

Для обработки карманов, обнижений и хвостовой части профилей разъемов предназначен продольно-фрезерный станок с ПУ модели ФП-11. Краткая техническая характеристика станков приведена в табл. VI.3.2.

В перспективе обработка как наружных поверхностей (теоретического контура) профилей разъема и стыковых лент и гребенок, так и обнижений и карманов будет вестись на продольно-фрезерном 5-координатном станке с ЧПУ модели ПФПК-5.

ДЕТАЛИ ТИПА ФИТИНГОВ И КРОНШТЕЙНОВ

Фитинги и кронштейны изготавливаются из легких цветных сплавов, легированных и высокопрочных сталей и титановых сплавов. Основными видами заготовок являются горячештампованные заготовки, литье. Более технологичными являются литые заготовки и сварные конструкции.

При конструировании деталей типа фитингов и кронштейнов рекомендуется соблюдать следующие основные технологические требования:

1. Штампованные и литые кронштейны и фитинги должны иметь минимально необходимый объем механической обработки. Нерабочие поверхности не должны обрабатываться.

2. При конструировании рекомендуется конфигурацию детали компоновать из простых однотипных геометрических поверхностей. Это значительно упростит обработку детали и облегчит применение станков с программным управлением.

3. Детали с механообрабатываемыми поверхностями больших размеров должны допускать обработку на универсальных металлорежущих станках.

4. Крепежные отверстия в деталях должны быть стандартными по диаметрам и резьбам. Номенклатура их должна быть минимальной.

5. Следует избегать ступенчатого расположения обрабатываемых плоскостей в деталях (рис. VI.3.112).



Рис. VI.3.112.

6. Сопряжение наружных и внутренних стенок обрабатываемых контуров должно производиться единым типовым для данного контура радиусом $R_{тип}$ (рис. VI.3.113).

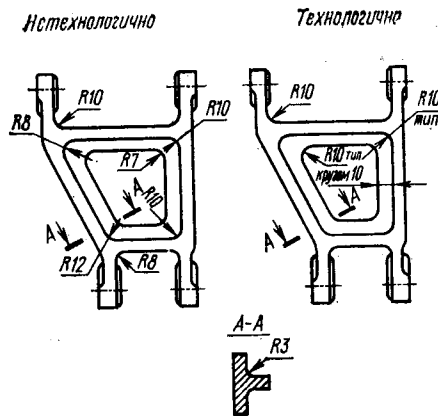


Рис. VI.3.113.

7. При назначении радиуса сопряжения $R_{тип}$ более предпочтительны радиусы, позволяющие использовать нормальный инструмент.

8. При назначении радиуса сопряжения поверхностей следует учитывать соотношение между радиусом сопряжения $R_{тип}$ и высотой стенок H обрабатываемого контура, обеспечивающее необходимую жесткость инструмента при обработке (рис. VI.3.114).

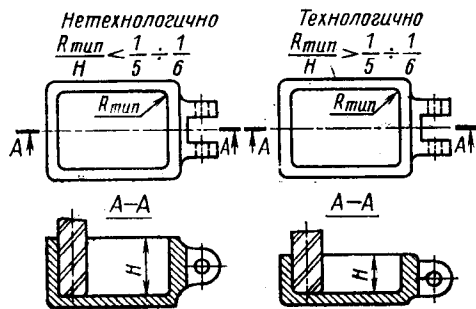


Рис. VI.3.114.

9. Сопряжения стенок с полками и подсечками должны также производиться одинаковыми, типовыми для данного контура радиусами $r_{тип}$ (рис. VI.3.115).

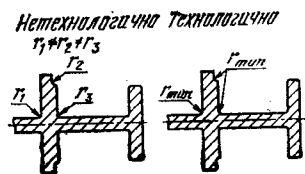


Рис. VI.3.115.

10. При назначении радиусов сопряжения должно быть выполнено соотношение между $R_{тип}$ и $r_{тип}$, обеспечивающее наличие на торце инструмента (концевой фрезы) плоского участка с диаметром, равным или большим 2 мм ($R_{тип} - r_{тип}$), необходимого для обработки плоскости детали, ограниченной контуром. Следует избегать соотношения

$R_{тип} = r_{тип}$, требующего применения шаровидных фрез (рис. VI.3.116).

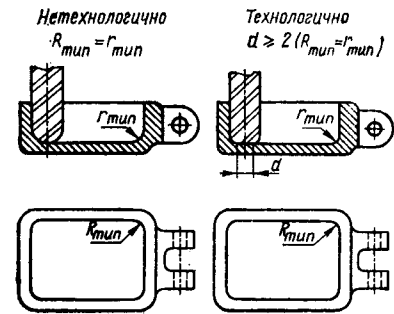


Рис. VI.3.116.

11. Следует избегать применения стенок с уклонами, обрабатываемых механическим путем (рис. VI.3.117).

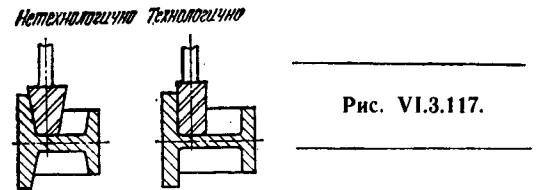


Рис. VI.3.117.

12. При проектировании проушин необходимо предусматривать возможность фрезерования на проход, что устраняет необходимость подъема стола (рис. VI.3.118).

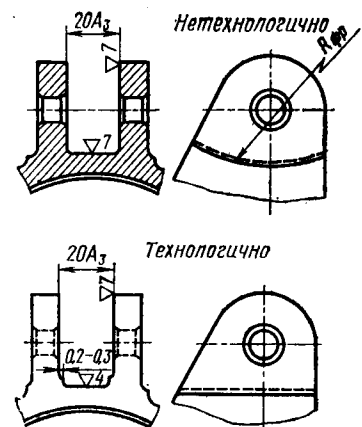


Рис. VI.3.118.

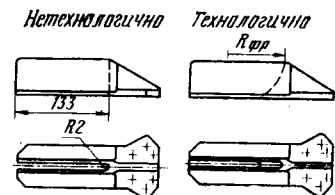


Рис. VI.3.119.

13. В конструкциях деталей с длинными узкими пазами (рис. VI.3.119) рекомендуется предусматривать выход фрезы.

14. Кронштейны сложной формы с закрытыми коробчатыми элементами не рекомендуется проектировать из горячештампованных заготовок, так как это связано с большим объемом механической обработки и низким коэффициентом использования металлов (0,1—0,3). Для этого следует предусматривать литые заготовки, в которых коэффициент использования металлов повышается до 0,7—0,9. На рис. VI.3.120, а, б и в показаны типовые представители этих деталей.

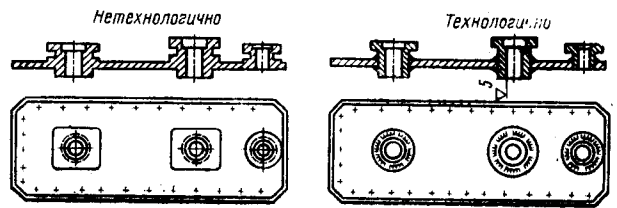
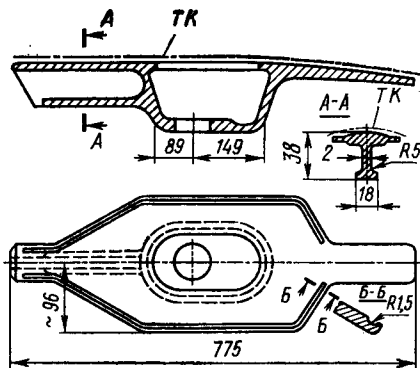


Рис. VI.3.122, а.



а

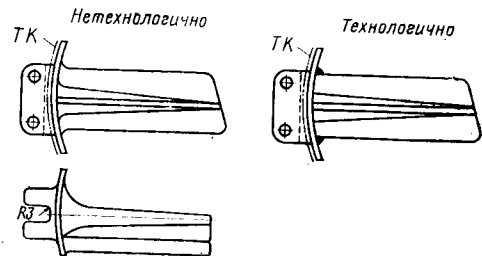


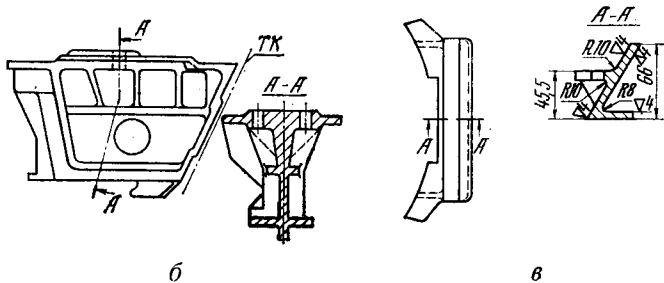
Рис. VI.3.122.

в) продольные и поперечные ребра жесткости в сечении *ВВ* образуют глубокие колодцы с криволинейным дном и двумя стенками, расположенными под углом относительно друг друга;

г) все поверхности кронштейна подлежат обработке.

Исходную заготовку невозможно получить наиболее рациональным методом — горячей штамповкой.

Коэффициент использования металла при изготовлении кронштейна такой конструкции составляет всего лишь 0,08.



б

Рис. VI.3.120.

15. На рис. VI.3.121, VI.3.122 и VI.3.122, а показаны детали, которые целесообразно проектировать сварными, если их по условиям прочности нельзя изготовить литыми. Это значительно снижает расход металлов и уменьшает трудоемкость изготовления.

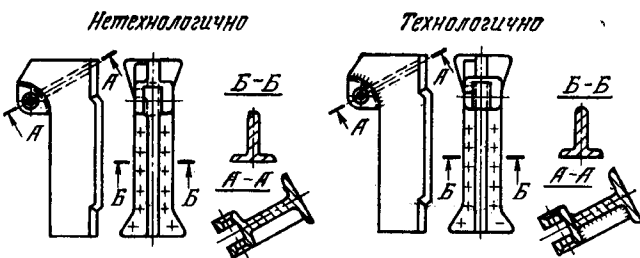


Рис. VI.3.121.

16. На рис. VI.3.123 показан нетехнологичный кронштейн по следующим элементам конструкции:

а) основание проушины представляет собой криволинейную поверхность, образуемую сопряжением радиусов $R=150$ и $R=232$ мм;

б) наружные плоскости проушины 95С₄ и 90С₄ обрабатываются по всей поверхности между ребрами жесткости (см. разрез *ВВ*);

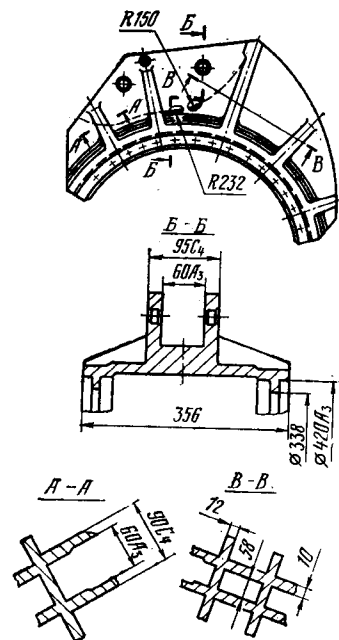


Рис. VI.3.123.

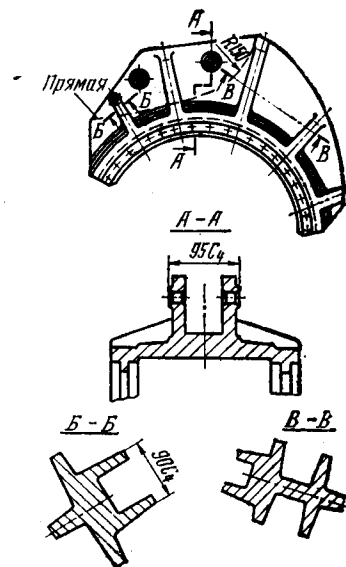


Рис. VI.3.124.

На рис. VI.3.124 показан тот же кронштейн технологичной конструкции:

а) проушина имеет прямое основание, переходящее в криволинейную поверхность с $R=150$ мм;

б) размер 95С₄ относится только к торцам бобышек (см. разрез АА);

в) в конструкции предусмотрено только одно продольное ребро жесткости, что исключает образование колодцев;

г) предусмотрены необрабатываемые поверхности и штамповочные уклоны.

Вследствие того, что кронштейн можно изготовить из горячештампованной заготовки, коэффициент использования металла составляет примерно 0,4.

Трудоемкость изготовления такого кронштейна по сравнению с кронштейном, показанным на рис. VI.3.123, снижена на 70%.

17. Рекомендуется у деталей типа кронштейнов (рис. VI.3.125, слева) предусматривать открытые пазы, чтобы можно было их фрезеровать дисковой фрезой, а не концевой. На (рис. VI.3.125, справа) приведена конструкция аналогичного более технологичного кронштейна, в котором обработка всех пазов шириной 7 мм может осуществляться более производительно и высококачественно дисковыми фрезами.

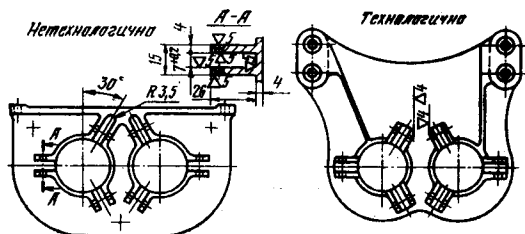


Рис. VI.3.125.

18. Более технологичен вырез, получаемый сразу путем фрезерования концевой фрезой и не требующий дофрезеровки радиусов в углах (рис. VI.3.126).

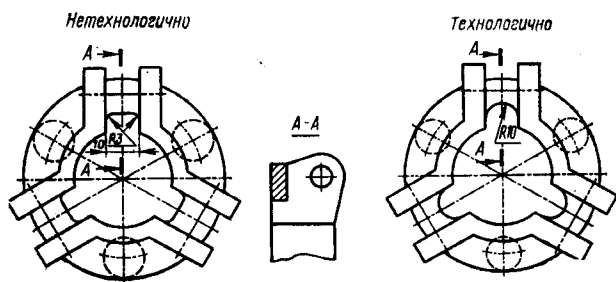


Рис. VI.3.126.

19. Вырезы в стенке для установки гайки рекомендуется проектировать таким образом, чтобы была возможность выполнять их путем сверления и дофрезеровки остатков (рис. VI.3.127).

20. При обработке внутреннего контура уголкового сечения желательно избегать сопряжения полук по радиусу (рис. VI.3.128).

21. Избегать в отверстиях кронштейнов фасок с внутренней стороны стенок и в трудно доступных местах (рис. VI.3.129), так как обработка их требует специального инструмента (обратных зенкоров) и связана с производственными трудностями.

Желательно заменять закрытые фаски в отверстиях увеличенными фасками на концах входящих валиков.

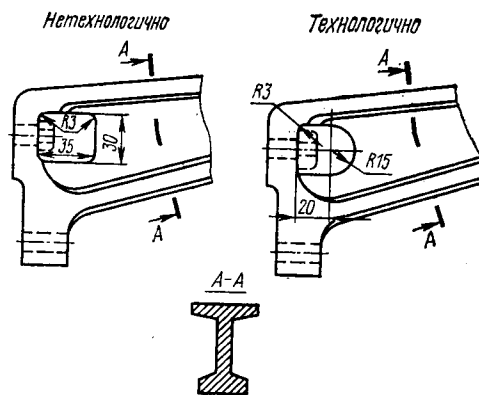


Рис. VI.3.127.

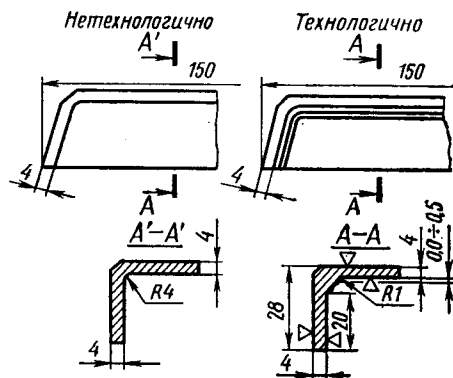


Рис. VI.3.128.

22. При проектировании механически обрабатываемых облегчений в деталях типа кронштейнов предусматривать радиусы сопряжений, равные радиусу фрезы, и избегать криволинейные участки (рис. VI.3.130).

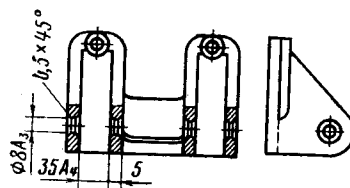


Рис. VI.3.129.

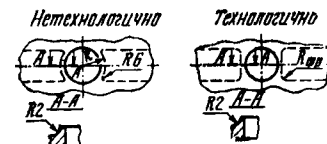


Рис. VI.3.130.

23. На рис. VI.3.131, слева, приведена деталь, в которой предусмотрены крайне трудоемкие механообрабатываемые прямоугольные выемки у отверстий. Необходимо проектировать цилиндрические выемки, которые легко обрабатываются зенкерованием (рис. VI.3.131, справа) вместо трудоемкого процесса фрезерования.

24. Плоские кронштейны типа, показанного на рис. VI.3.132, целесообразно проектировать из горячештампованных заготовок с чеканкой теоретических контуров. Применять в качестве заготовки

плиту нецелесообразно, так как это связано с большой трудоемкостью механической обработки и низким коэффициентом использования металла.

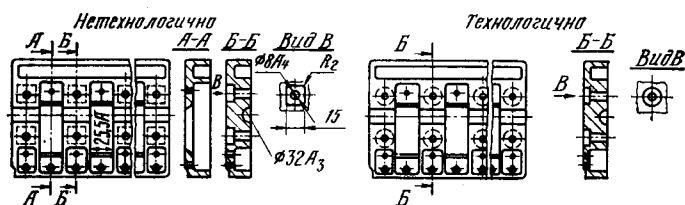


Рис. VI.3.131. Выемки у отверстий.

25. Унифицировать ушковые и вильчатые элементы конструкций кронштейнов в целях создания минимальной гаммы высокопроизводительных переналаживаемых агрегатных станков из нормализованных узлов для механической обработки этих элементов.

26. Предусматривать в конструкциях кронштейнов большее количество открытых бесступенчатых плоскостей, которые возможно наиболее производительно обрабатывать методом непрерывного фрезерования на вертикально-фрезерных станках карусельного типа.

27. Следует избегать проектирования фитингов с закрытыми малками, для изготовления которых требуются специальные фрезы «колоколом», так как при этом в углах около стенок остается необработанный участок поверхности, который можно обработать только вручную, рис. VI.3.133.

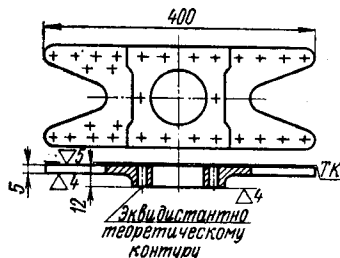


Рис. VI.3.132. Пример для выбора оптимальной заготовки.

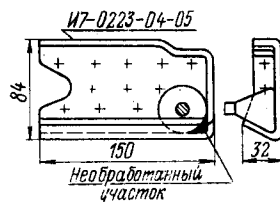


Рис. VI.3.133.

Широкое применение фитингов с открытыми малками даст возможность полностью устранить механическую обработку их внутренних стенок и дна и таким образом повысить их технологичность, рис. VI.3.134.



Рис. VI.3.134.
Фитинг с открытой малкой.

Технологично Нетехнологично

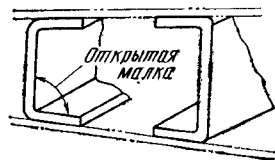


Рис. VI.3.135.

28. В отдельных случаях технологичность фитинга может зависеть от его расположения. Если фитинг открытой частью направлен в сходящуюся сторону, то он нетехнологичен, так как при таком

расположении фитинг будет иметь закрытую малку, и, наоборот, если фитинг своей открытой частью направлен в расходящуюся сторону, то он технологичен, так как имеет открытую малку, рис. VI.3.135.

29. В случаях, когда закрытые малки в фитингах неизбежны, рационально ввести по дну излом под 90° к наклонной полке, что даст возможность вести обработку нормальной концевой фрезой, рис. VI.3.136.

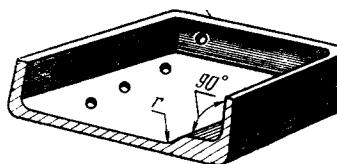


Рис. VI.3.136. Фитинг с закрытой малкой.

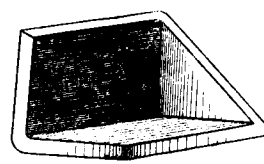


Рис. VI.3.137. Фитинг углового типа.

30. Рациональна конструкция фитингов углового типа с открытыми малками, что позволяет при штамповке в угол получать параллельные стенки без штамповочных уклонов и механической обработки, рис. VI.3.137.

31. Фитинги, имеющие сечение в виде открытых профилей, целесообразно изготавливать из прессованных профилей (рис. VI.3.138).

В этом случае резко повышается технологичность деталей и снижается трудоемкость их обработки.

32. Детали, приведенные на рис. VI.3.139 целесообразнее изготавливать из листа методом холодной штамповки вместо механической обработки из горячештампованных заготовок.

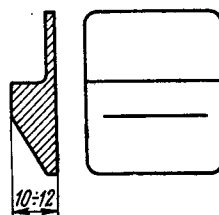


Рис. VI.3.138. Фитинг с сечением в виде открытого профиля.

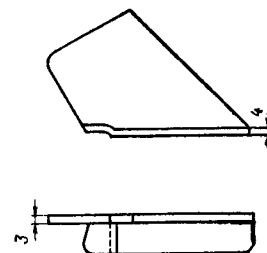


Рис. VI.3.139. Пример фитинга, изготовленного из листа.

33. На рис. VI.3.140; VI.3.141 показаны фитинги, которые нецелесообразно изготавливать из горячештампованных заготовок, так как облегчения между ребрами не проштамповываются и требуют



Рис. VI.3.140.

трудоемкой механической обработки. Рекомендуется для фитингов таких типов предусматривать заготовки из литья.

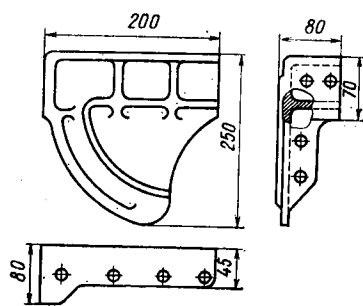


Рис. VI.3.141.

Примеры фитингов, изготавливаемых из литья.

34. Не рекомендуется у деталей типа фитингов (рис. VI.3.142) предусматривать механическую обработку в углах закрытых малок, так как обработка этих мест связана с производственными трудностями и требует большого объема ручной доработки.

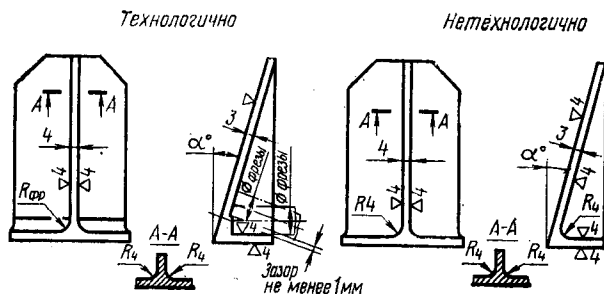


Рис. VI.3.142. Пример обработки углов закрытых малок.

При необходимости обработки закрытых малок предусматривать уступы с учетом диаметров фрез. Для деталей такого типа применять вместо горячей штампованной заготовки заготовку из точного литья.

РЫЧАГИ И КАЧАЛКИ

Детали данного типа изготавливаются из стали, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов. Основными видами заготовок для рычагов и качалок являются штамповки и литье.

Рекомендуется:

1. Заготовки для рычагов и качалок сложной конфигурации, например из труднообрабатываемых материалов (жаропрочных сталей, титановых сплавов), изготавливать не горячей штамповкой, а точным литьем (рис. VI.3.143). Это повышает коэффициент использования металла с 0,3 до 0,7—0,9 и значительно снижает трудоемкость механической обработки.

2. При сложной конструкции рычагов и качалок в некоторых случаях выгодно проектировать их сварными, что позволяет значительно сократить трудоемкость изготовления и снизить расход металла (рис. VI.3.144).

3. При изготовлении заготовок методом горячей штамповки механическую обработку поверхностей, параллельных плоскости разреза, заменять более производительным методом обработки — чеканкой (рис. VI.3.145).

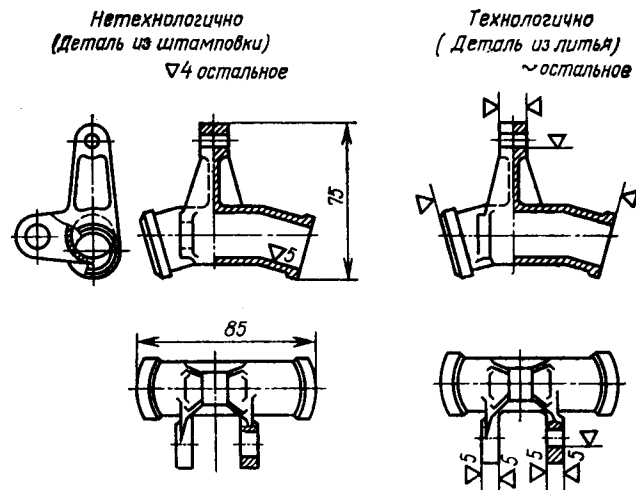


Рис. VI.3.143. Пример проектирования технологичной заготовки.

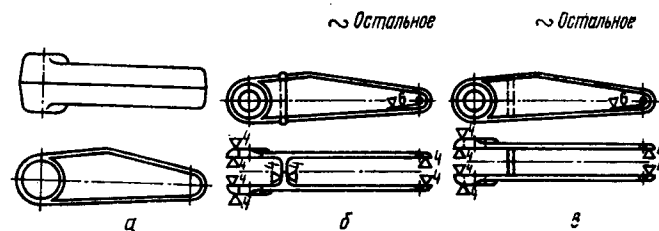


Рис. VI.3.144. Конструкция рычага:

а — штампованная заготовка рычага; б — рычаг из штампованной заготовки; в — технологичная конструкция рычага, сваренного из штампованных элементов.

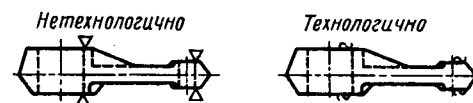


Рис. VI.3.145. Пример проектирования технологичной конструкции заготовки рычага.

4. Механическая обработка заготовок рычагов и качалок должна сводиться в основном к разделке отверстий под подшипники, болты, втулки и частично к фрезерованию плоскостей сопряжения.

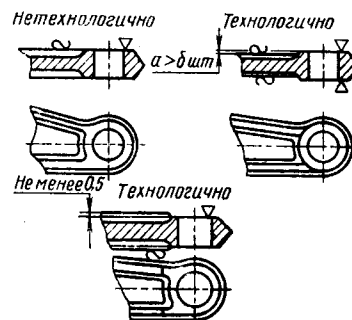


Рис. VI.3.146. Выбор оптимального расположения обрабатываемых поверхностей к необрабатываемым в рычагах.

5. Обрабатываемые поверхности располагать на разных уровнях с необрабатываемыми. Размер уступа должен быть несколько больше допуска на необрабатываемую поверхность, но не менее 0,5 мм (рис. VI.3.146).

6. При наличии параллельных плоскостей

(плоскости сопряжения по концам рычагов и качалок и др.) предусматривать возможность обработки набором стандартного режущего инструмента на проход (рис. VI.3.147).

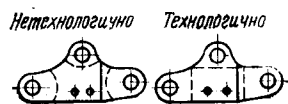


Рис. VI.3.147. Конструкция проушин в качалках.

7. Избегать применения в отверстиях механически обрабатываемых выточек и канавок, которые можно выполнять только на токарных станках путем поперечной подачи (рис. VI.3.148) или с помощью планшуппортных головок.

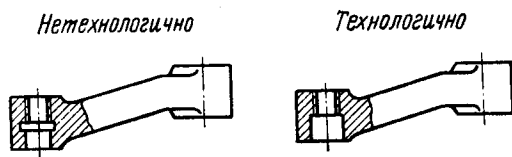


Рис. VI.3.148. Примеры правильного проектирования отверстий в рычагах.

8. Отверстия в рычагах и качалках под подшипники следует проектировать сквозными, что позволит применить производительный метод получения точных отверстий — протягивание. Распор подшипников обеспечивается распорными втулками.

9. Унифицировать посадки в отверстиях рычагов и качалок под подшипники в целях сокращения применяемого режущего и измерительного инструмента.

10. Высота ступиц качалок и рычагов под запрессовку подшипников, не устанавливаемых по ОСТ 1.03841—76, должна выполняться по рис. VI.3.149, где B — ширина наружной обоймы подшипника, A — высота распорной втулки по на-

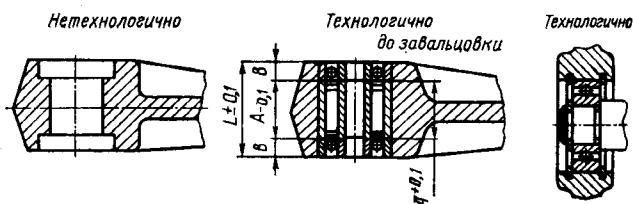


Рис. VI.3.149. Пример разработки технологичной конструкции ступиц под запрессовку подшипников.

ружному кольцу подшипника. При установке подшипников по ОСТ 1.03841—76 высоту ступиц качалок, рычагов и ушков выполнять, как предусматривает стандарт, в виде пяти типов механической заделки (рис. VI.3.150).

11. Унифицировать ушковые и вильчатые элементы в конструкциях рычагов и качалок в целях разработки нормализованных технологических процессов с применением УПТО (универсальной переналаживаемой технологической оснастки) и высокопроизводительного оборудования.

12. Шероховатость и точность обрабатываемых резанием поверхностей рычагов и качалок рекомендуется назначать в соответствии с данными таблиц глав 1 и 2.

13. В ответственных силовых деталях указывать размеры перемычек проушин (рис. VI.3.151).

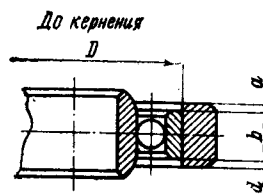


Рис. VI.3.150. Пример разработки технологичной конструкции ступиц под запрессовку подшипников по ОСТ 1.03841—76.

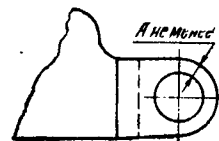


Рис. VI.3.151. Пример правильной простановки размеров перемычки.

Механическая обработка рычагов и качалок выполняется на универсальных (токарных, фрезерных, сверлильных и др.) и агрегатных станках, комплектуемых из нормализованных узлов. В последнее время спроектирован и изготовлен ряд металлорежущих станков с программным управлением, позволяющих повысить производительность и точность обработки и снизить шероховатость поверхности рычагов и качалок (станки модели АПРС-1, АПРС-4, МС-500П и др.), см. табл. VI.3.2.

ФЛАНЦЫ И КРЫШКИ

Фланцы и крышки изготавливаются из черных и цветных металлов и сплавов. В качестве исходных заготовок для этих деталей применяются горячие штамповки, отливки, прутки, трубы и др.

Рекомендуется:

1. Фланцы и крышки сложных форм (рис. VI.3.152; VI.3.153), например, из труднообрабатываемых материалов (титановых сплавов, жаропрочных сталей) целесообразнее изготавливать методом точного литья. Это позволит резко сократить расход металла и снизить трудоемкость механической обработки.

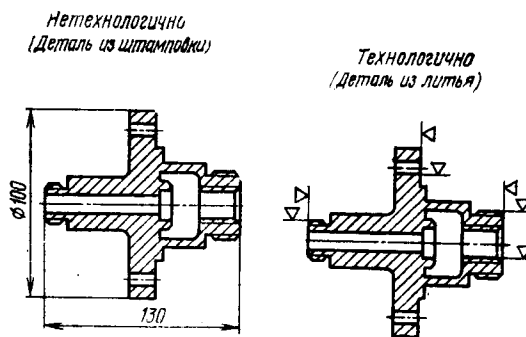


Рис. VI.3.152.

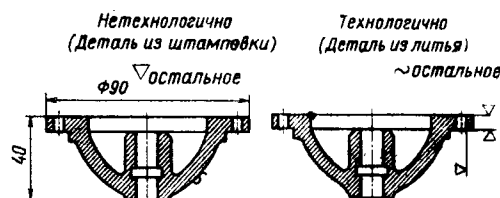


Рис. VI.3.153.

2. Для простоты изготовления и лучшего использования материала фланцы и крышки в некоторых случаях выгоднее проектировать сварными (рис. VI.3.154) из листа, прессованного профиля или из отдельных штампованных элементов.

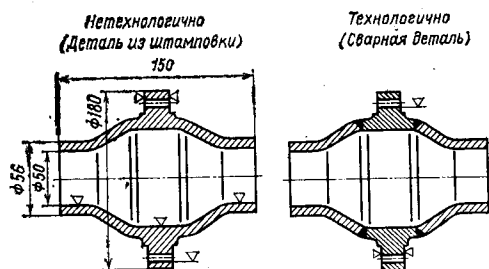


Рис. VI.3.154. Выбор технологичной конструкции фланца.

3. В целях лучшего использования металла и снижения трудоемкости некоторые фланцы и крышки, получаемые из прутка, изготавливать из листа методом холодной вытяжки или холодного выдавливания (рис. VI.3.155; VI.3.156).

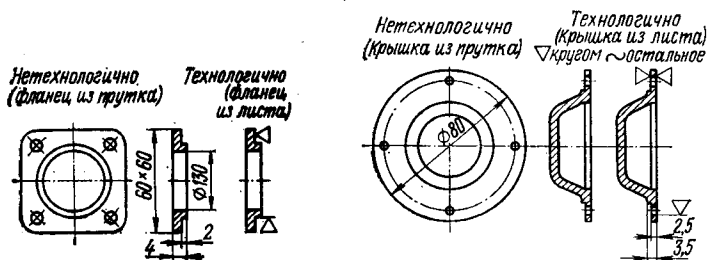


Рис. VI.3.155.

Рис. VI.3.156.

4. Цековку отверстий на торце фланца или крышки следует заменять сплошной подрезкой торца, что позволит повысить точности и снизить трудоемкость механической обработки (рис. VI.3.157).

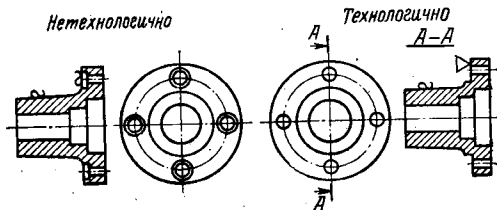


Рис. VI.3.157. Обработка торцов у отверстий фланца или крышки.

5. У фланцев втулки ступенчатой формы (рис. VI.3.158) должны по возможности располагаться в порядке возрастания размеров от одного торца к другому.

6. Радиусы в местах сопряжений ступенчатых цилиндрических поверхностей фланцев и крышек делать одинаковыми (рис. VI.3.159), что сокращает количество режущего инструмента.

7. При наличии во фланцах глухих отверстий, обрабатываемых осевым инструментом (сверлом,

зенкером, разверткой), следует предусматривать длину отверстия с учетом заборной части инструментов (участок f , см. табл. VI.2.9).

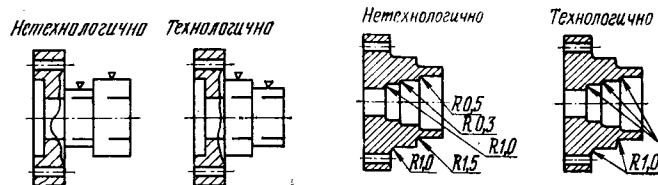


Рис. VI.3.158. Выбор расположения поверхностей в зависимости от их размеров.

Рис. VI.3.159. Примеры выбора радиусов в местах сопряжения.

8. Во фланцах и крышках с глухими резьбовыми отверстиями малого диаметра (рис. VI.3.160) предусматривать для выхода инструмента вместо канавок сбеги резьбы (участок x см. табл. VI.2.10), в результате исключается необходимость в специальном инструменте для обработки канавок.

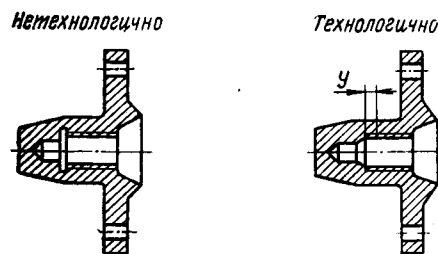


Рис. VI.3.160.

9. Стыковые отверстия на торце фланцев и крышек должны располагаться с равным или кратным шагом и иметь по возможности одинаковый диаметр (рис. VI.3.161).

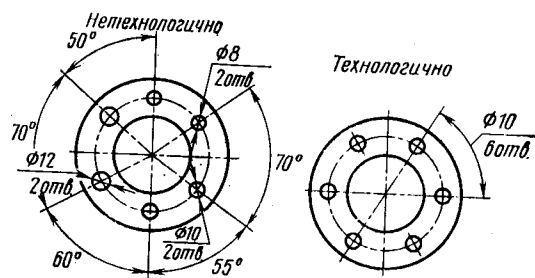


Рис. VI.3.161.

10. Точность механически обрабатываемых поверхностей фланцев и крышек рекомендуется назначать в соответствии с данными таблиц глав 1 и 2.

Детали типа фланцев и крышек обрабатываются на универсальных и агрегатных станках. В последние годы в НИАТе разработан ряд металлорежущих станков с ПУ, позволяющих повысить производительность и точность обработки, к ним относятся токарные станки с ПУ моделей ТПК-125В, АТПр-2М12 и др. (см. табл. VI.3.2).

КРАТКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ И СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Таблица VI.3.2

Станки		Параметры технической характеристики									Обрабаты- ваемый материал	Примечание
Наименование	Модель	Наибольшие габаритные размеры обра- батываемых деталей (длина× ×ширина× ×высота), мм	Пределы частот враще- ния шпин- деля, об/мин	Скорость подач, мм/мин			Класс шерохо- ватости	Точность обра- ботки, мм	Число управле- мых координат	Мощность глав- ного привода, кВт		
Вертикально-фрезер- ный с крестовым столом и ЧПУ	6520ФЗ	630×250×275	31,5—1600	700	700	700	5	±0,15	3	4	Стали и легкие спла- вы	По заказу изготовля- ется станок с шириной стола 320 мм
Вертикально-фрезер- ный консольный с ЧПУ	6M13CH	1000×400×250	40—2000	0—1200	0—1200	0—1200	5	±0,1	3	7,5	Стали, сплавы алю- миниевые, магниевого и др.	
Вертикально-фрезер- ный с ПУ	ФП-4С4	1000×400×420 планшайба D=550	31—1600	7,5—600	7,5—600	7,5—600	4	±0,15	4	7,5	То же	
Вертикально-фрезер- ный с ПУ	МА-655А (МА-655С5) (МА-655С2)	1000×500×380	20—2500	0—2400	0—2400	0—2400	5	±0,1	3	8	»	МА-655А с автоматиче- ской сменой инструмента (на 8 инструментов) МА-655С2 — двухшпин- дельный, МА-655С5 — пятикоординатный
Вертикально-фрезер- ный с ПУ	ФП-17М	1600×500×250	185—2050 (46—1000)	0—1500	0—1500	0—1500	5	±0,1	3	22	»	(46—1000) для трудно- обрабатываемых мате- риалов
Вертикально-фрезер- ный с ПУ	ФП-7М	3000×500×400	185—2050 (46—1000)	0—1500	0—1500	0—1500	5	±0,1	3	22	»	То же
Вертикально-фрезер- ный с ПУ	ФП-27Н	2000×800×400	25—3000	0—1800	0—1800	0—1800	5	±0,1	3	30	»	Со встроенным интер- полятором
Вертикально-фрезер- ный с ПУ	ФП-37	3000×800×400	25—3000	0—1800	0—1800	0—1800	5	±0,1	3	30	»	
Продольно-фрезерный с ПУ	ФП-9М (ФП-9ТС)	7000×1800× ×1000	185—2050 (44—992)	0—1500	0—1500	0—400	5	±0,15	3	20	»	(44-992) для обработки труднообрабатываемых материалов
Продольно-фрезерный с ПУ	ВФ-3М8	7000×2500× ×700 (4000×2500× ×700)	20—2500	10—2400	10—2400	10—2400	5	±0,1	3	22	»	(4000×2500) с укороченным столом
Продольно-фрезерный с ПУ	ПФП-5 (ПФП-5С) ПФП-5С33	18 000×1600× ×325	3000/1500	0—1700	0—1700	0—300	5	±0,1	4	20	Легкие сплавы	ПФП-5С с корректиру- ющим устройством ПФП-5С33 с длиной обработки 30 000 мм
Продольно-фрезерный двухшпиндельный 4-ко- ординатный с ПУ	2ФП-242	25 000×2500× ×425	20—3150	0—4800	0—4800	0—2000	5	±0,1	4	30	Легкие сплавы и труднообра- батываемые материалы	

Станки		Параметры технической характеристики									Обрабаты- ваемый материал	Примечание
Наименование	Модель	Наибольшие габаритные размеры обра- батываемых деталей (длина× ×ширина× ×высота), мм	Пределы частот вращения шпинделя, об/мин	Скорость подач, мм/мин			Класс шерохо- ватости	Точность обра- ботки, мм	Число управле- мых координат	Мощность глав- ного привода, кВт		
Продольный копи- рально-фрезерный	КУ-191-8	8000×500×600	Горизон- тальный шпиндель 80—3200, вертикаль- ный шпин- дель 160—3200	50—5000	—	—	5	±0,15	—	10/14	Легкие сплавы	Станки изготавливаются для обработки длин 8, 12, 16 и 20 м.
Продольно-фрезерный с ПУ сов	ПФПК-5	35000×450×450	10—3150	0—2000	0—2000	0—800	5	±0,1	5	30	Легкие сплавы и термообра- батываемые материалы	—
Фрезерный с ПУ для обработки торцов сото- вого заполнителя дета- лей сложной, простран- ственной формы	РФП-4	4200×1800× ×400	18 000	25—2400	25—2400	25—2400	4	±0,15	5	3,5	Легкие сплавы	—
Фрезерный с ПУ для обработки сложных по- верхностей сотовых за- полнителей	РФП-6	6300×1800× ×400	18 000 и 9000	25—2400	25—2400	25—2400	5	±0,15	5	6 (3)	Легкие и титановые сплавы	—
Станок для шлифова- ния пазов цилиндриче- ских рельс	СПШ-1	Обрабаты- ваемый радиус направляющих рельсов 200— 800 мм	Вращение круга 36 000 об/мин	Продольная подача шлифо- вального круга (по оси шпин- деля) за один толчок 0,01 мм Поперечная подача (по ра- диусу паза) шлифовального круга за один двойной ход секторного стола 0,005—0,05 мм			7	3-й кл.	—	Элек- трошпин- деля —4	Стали	
Фрезерно-шлифоваль- ный для обработки ци- линдрических монорель- сов	КУ-355	Обрабаты- ваемый радиус направляющих монорельсов 500—2500 мм	Фрезерная головка 10—1250, шлифоваль- ная головка 1500—6000	Подача фрезерной головки 20—2400 мм/мин. Подачи шлифовальной голов- ки 2—4000 мм/мин			Фрезе- рование —5, шлифо- вание —7	•	—	—	Трудно- обрабаты- ваемые мате- риалы	
Станок для шлифова- ния цилиндрических рельс	СПР-2 (исполне- ние А, Б, В и Г)	Радиус шли- фуемой поверх- ности от 725— 2500 мм	Для шпин- делей № 1— 18000/24000; № 2— 2800/5700	Подача импульсная, мм: черновая — 0,01, 0,015, 0,02; чистовая — 0,005, 0,01			7	•	—	Электрощпиндель —2,2/1; шлифо- вальной головки 4,1/3,3	Трудно- обрабаты- ваемые ма- териалы	

Агрегатный сверлильно-фрезерно-расточный с ПУ и автоматической сменой инструмента	АПРС-1	Диаметр стола 400 мм. Наибольший диаметр, мм: растачивания — 200 сверления — 40	9—2250	0—710	0—710	0—710	5	±0,05	6	8	Сталь, титановые и легкие сплавы	
Агрегатный сверлильно-фрезерно-расточный с ПУ и автоматической сменой инструмента	АПРС-4	Диаметр стола 800 мм. Наибольший диаметр, мм: растачивания — 240 сверления — 40	9—2250	0—710	0—710	0—710	5	±0,05	6	8	То же	
Агрегатный сверлильно-фрезерно-расточный с ПУ и автоматической сменой инструмента (проект)	АПРС-5	Диаметр стола 1600 мм. Наибольший диаметр, мм: растачивания — 240 сверления — 70	9—2250	2—1000	2—1000	2—1000	5	±0,05	6	10	»	
Токарный патронный полуавтомат с ПУ и инструментальным магазином	АТПр-2М12С	Наибольший диаметр обработки, мм: над станиной — 250 над суппортом — 165	70—1780	Рабочая 0,05—0,7 мм/об. Ускоренная 4,8 м/мин	Рабочая 0,025—0,35 мм/об. Ускоренная 2,4 м/мин	—	5	2—3-й класс	2	8,3/10,2	»	
Горизонтально-фрезерный с ПУ для объемной обработки	6Б443ФЗ	1000×560×320	31,5—2500	0—1000	0—1000	0—1000	5 по стали, 6—цветные сплавы	±0,1	3	5,5	Сталь, легкие труднообрабатываемые сплавы	Изготовитель ЛСО им. Свердлова (по заказу)
Горизонтально-фрезерный с ПУ	6Б444ФЗ	1400×800×500	25—2500	0—1200	0—1200	0—1200	5 по стали, 6—цветные сплавы	±0,1	3	7,5	То же	То же
Горизонтально-фрезерный с ЧПУ	6Б445ФЗ	Рабочая поверхность стола 3150×1600 мм	16—2000	6—1000	6—1000	6—1000	5 по стали, 6—цветные сплавы	±0,1	3	15,0	»	
Горизонтально-фрезерный с ЧПУ для обработки крупногабаритных панелей	6Б446ЛФЗ	Рабочая поверхность стола 5000×2500 мм	Основной головки: 25÷3150 Высокоскоростной головки: 2000—5000	0—1200	0—1200	0—1200	5 по стали, 6—цветные сплавы	±0,1	3	30,0	Сталь, легкие и труднообрабатываемые сплавы	

Глава 4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ МЕХАНООБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ С МИНИМАЛЬНЫМ КОРОБЛЕНИЕМ

Появление напряженного состояния в металле почти после каждой технологической операции обусловлено многими причинами, основными из которых являются: резкое различие в физических свойствах компонентов химического состава, различная степень наклепа при прессовании, несимметричный профиль детали и разностенность, неравномерное охлаждение при термообработке и другие. Это приводит к образованию коробления.

В процессе механической обработки в связи с нарушением равновесия поля внутренних остаточных макронапряжений при сьеме металла коробление может уменьшиться или увеличиться. Чем больше разница снимаемого металла с противоположных сторон детали, тем больше коробление.

В практике изготовления крупногабаритных деталей плоской формы коробление в процессе механической обработки проявляется в виде прогибов плоскостей в различных направлениях; при обработке деталей кольцевой формы — в виде эллипсовидности.

После термообработки плоских деталей типа панелей основным видом коробления является саблевидность, которая не позволяет в процессе механической обработки получить геометрические размеры детали в соответствии с чертежом, осуществить перевод механической обработки этих деталей на станки с программным управлением, а также не позволяет конструктору увеличивать длину деталей.

Проблема устранения коробления крупногабаритных деталей, имеющих сложную геометрическую форму, является актуальной и может быть решена путем внедрения в технологический процесс механической обработки новых операций и методов.

К числу новых методов, значительно уменьшающих коробление после термообработки, относятся:

1. Всестороннее и равномерное растяжение заготовок с остаточной деформацией 1—3%.
2. Пропорциональный сьем металла при механической обработке.
3. Оптимизация процесса резания при обработке тонкостенных деталей по критерию минимального коробления.
4. Дробеструйная обработка местных коробленных участков.

К основным крупногабаритным деталям самолетов, склонным к короблению в процессе механической обработки, относятся монолитные панели, пояса лонжеронов и стрингеры, балки, профили разьема, шпангоуты, детали шасси и др. Обработка таких деталей на металлорежущих станках весьма трудоемка. Большой процент по трудоемкости занимают рихтовочные работы. Исходная заготовка по своим формам и размерам далеко не совпадает с профилем готовой детали и имеет значительное коробление после термообработки.

В целях снижения трудоемкости изготовления крупногабаритных деталей, коробящихся в процессе механической обработки, и разработки про-

грессивного технологического процесса на механическую обработку приводятся настоящие рекомендации, внедрение в производство которых зависит во многом от конструкторов при проектировании ими заготовок и деталей, разработки технических условий на изготовление и поставку.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ИХ КОРОБЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

При проектировании крупногабаритных деталей, заготовки которых коробятся после термообработки, в целях уменьшения коробления в процессе механической обработки необходимо:

1. Избегать односторонней механической обработки, стремиться к созданию симметричных конструкций.
2. Предусматривать в заготовках законцовки, с помощью которых можно производить всестороннее и равномерное растяжение. Законцовки рассчитывать таким образом, чтобы ось центра тяжести их поперечного сечения совпадала с осью центра тяжести поперечного сечения заготовки рис. VI.4.1.

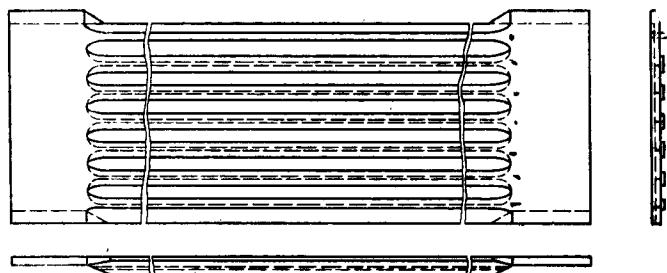


Рис. VI.4.1. Технологическая панель с законцовками.

3. Предотвращать коробление деталей в процессе механической обработки методом пропорционального съема металла по расчетным припускам. Для расчета припусков в чертежах на деталь и заготовку должны быть указаны координаты центра тяжести детали и заготовки, а также приведена схема вписывания поперечного сечения детали в поперечное сечение заготовки (рис. VI.4.2).

4. Припуски под механическую обработку рассчитывать из условия соблюдения равновесия статических моментов частей поперечного сечения детали относительно ее центра тяжести и указывать их в чертеже на схеме вписывания (рис. VI.4.3).

5. Не допускать большой диспропорции в величине снимаемого слоя с противоположных сторон заготовки. В случае невозможности выполнения данного условия (например, при обработке косых панелей (рис. VI.4.4 и рис. VI.4.5), необходимо при-

пуск рассчитывать для широкой и узкой сторон и обеспечивать снятие его за три прохода, так как каждый проход постепенно приводит деталь в состояние равновесия и уменьшает коробление.

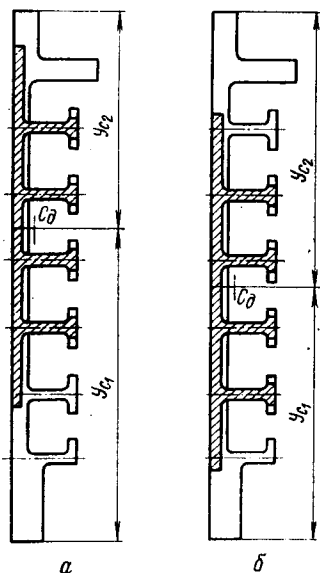


Рис. VI.4.2. Схема вписывания сечения детали в сечение заготовки:

a — нетехнологичная заготовка $S_{C1} \neq S_{C2}$; б — технологичная заготовка, $S_{C1} = S_{C2}$. (S_{C1} ; S_{C2} — статические моменты поперечного сечения заготовки относительно центра тяжести детали).

6. Установлено, что при обработке длинномерных деталей по расчетным припускам отклонение от прямолинейности обработанных плоскостей находится в пределах 0,05—0,1 мм на 1 погонный метр.

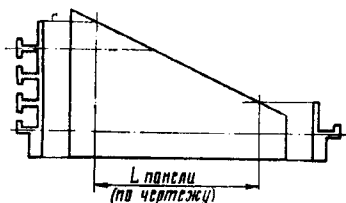


Рис. VI.4.4. Пример конструкции косой детали (панели).

7. Местное коробление после механической обработки (например, в виде хлопунгов в местах облегчений на поясах лонжеронов) устранять дробеструйной обработкой.

8. Для деталей кольцевой формы в целях устранения овальности рекомендуется:

а) термическую обработку поковок производить после предварительной механической обработки для снижения максимальных остаточных напряжений и выравнивания общей эпюры распределения внутренних остаточных напряжений;

б) заготовки из прессованных полуфабрикатов после сварки подвергать отжигу, рихтовке, а затем

закаливаться с размером овальности не более снимаемого припуска. Для этого закалку осуществлять

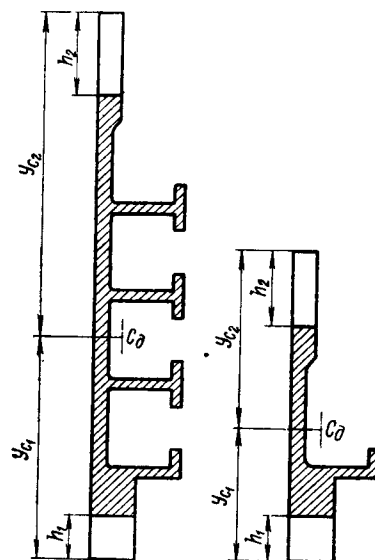


Рис. VI.4.5. Назначение припуска под механическую обработку из условия равенства статических моментов для косой детали (панели) $Sh_1 = Sh_2$.

в приспособлении. В противном случае на поверхности создаются участки с различной напряженностью.

ПОРЯДОК РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

1. По заданным параметрам производственного чертежа детали и заготовки (координаты центра тяжести детали и заготовки, схема вписывания поперечного сечения детали в сечение заготовки) рассчитываются статические моменты частей поперечного сечения детали с припусками относительно центра тяжести детали. Припуски вырисовываются при вписывании сечения детали в сечение заготовки. Принимается, что главные оси OX и OY проходят через центр тяжести детали. Моментов получается четыре: два по оси OX и два по оси OY .

2. Если статические моменты по оси OX и OY не равны между собой, необходимо их уравнять за счет снятия «лишнего» металла (припусков на стороне, определяющей больший статический момент).

3. Выравнивание статических моментов происходит последовательно и постепенно, в зависимости от величины припусков и порядка технологических операций обработки.

4. По достижении равновесия всей заготовки назначаются припуски на обрабатываемые стороны пропорционально (в процентном отношении), не нарушая равенства статических моментов.

5. Снятие припусков и определение статических моментов сечения детали по одной оси (например, по оси OY) должно быть согласовано со значениями этих параметров по другой оси (OX) во избежание нарушения равенства моментов относительно другой оси.

6. Расчет припусков под механическую обработку на деталях кольцевой формы производится в зависимости от равенства статических моментов относительно центра тяжести поперечного сечения стенок и всего кольца.

7. Разработку программы на механическую обработку нежестких деталей производить с учетом припусков на бескоробленную обработку. Для этого припуски и последовательность их съема с профиля детали назначают, исходя из равенства статических моментов сечения детали относительно центра тяжести. На рис. VI.4.6. схематично изображена деталь типа лонжерона в процессе снятия припуска по разработанному способу (m и n — снимаемые припуски; Y_{c1} и Y_{c2} — координаты поверхностей детали, с которых снимаются припуски относительно центра тяжести (ЦТ) детали; a и b — параметры детали).

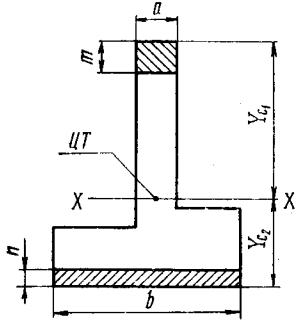


Рис. VI.4.6. Принципиальная схема съема расчетных припусков при обработке деталей типа лонжеронов.

Один из припусков должен быть назначен, а другой припуск определяется, исходя из равенства статических моментов S_1 и S_2 .

Расчет припуска осуществляют по формулам:

$$S_1 = S_2;$$

$$S_1 = F_1 Y_{c1} = m a \left(Y_{c1} + \frac{m}{2} \right);$$

$$S_2 = F_2 Y_{c2} = n b \left(Y_{c2} + \frac{n}{2} \right).$$

Если m — заданный припуск, то, исходя из равенства

$$m a \left(Y_{c1} + \frac{m}{2} \right) = n b \left(Y_{c2} + \frac{n}{2} \right),$$

отсюда

$$S_1 = n b Y_{c2} + \frac{n^2 b}{2};$$

$$2S_1 = 2n b Y_{c2} + n^2 b;$$

$$n^2 b + 2n b Y_{c2} - 2S_1 = 0;$$

$$n^2 + 2n Y_{c2} - \frac{2S_1}{b} = 0;$$

тогда

$$n = -Y_{c2} \pm \sqrt{Y_{c2}^2 + \frac{2S_1}{b}}.$$

Выбор значений припусков, продиктованный равенством статических моментов, не приводит к нарушению эпюры напряжений, а следовательно, и к короблению детали, что в значительной степени снижает трудоемкость изготовления деталей с симметричным и несимметричным профилем, с постоянным и непостоянным сечением по длине.

8. Разработку программы на механическую обработку маложестких деталей производить с учетом припусков на обработку без коробления.

9. Механообработку по расчетным припускам можно производить на универсально-фрезерных, а также станках с ЧПУ, без каких-либо следящих и корректирующих устройств.

10. При механической обработке по расчетным припускам не требуется применения труда высокой квалификации.

11. Для сокращения трудоемкости расчета припусков необходимо использовать ЭВМ.

Глава 5. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ МЕСТ СОПРЯЖЕНИЯ АГРЕГАТОВ

В современных конструкциях самолетов к стыковым элементам агрегатов — центроплана СЧК, ОЧК и киля, предъявляются высокие требования по обеспечению надежной взаимозаменяемости, высокой точности обрабатываемых поверхностей и

2.5
малой их шероховатости ($Rz \sqrt{V}$). Стыковка агрегатов подразделяется по следующим видам соединений: фланцевое, вильчатое, поворотное, ленточное, телескопическое, шарнирное.

Для указанных агрегатов наиболее широко используемым видом соединения является фланцевое, наиболее технологичное. В последнее время все большее применение в конструкциях тяжелых машин находят стыки телескопического типа с соединением по коническим поверхностям.

В связи с совершенствованием тактико-технических данных изделий к взаимозаменяемости стыковых агрегатов предъявляются высокие требования, которые не могут быть решены только методами сборки.

Взаимозаменяемость агрегатов обеспечивается окончательной механической обработкой агрегатов в собранном виде. Механическая обработка плоскостей разъемов является весьма трудоемким и ответственным процессом, требующим высокой точности и малой шероховатости обрабатываемых поверхностей, что зависит от технологических возможностей металлорежущего оборудования, квалификации рабочего и жесткости системы СПИД.

Разделка стыкуемых поверхностей агрегатов осуществляется в специальных разделочных стендах, компонованных из стапеля для крепления агрегатов и металлорежущего оборудования.

ИСХОДНЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ

Агрегаты представляют собой сборно-клепаные конструкции, которые должны обладать высокой жесткостью для крепления их в разделочном стапеле и особенно в зоне механической обработки стыков. На точность обработки стыкуемых поверх-

ностей в разделочном стапеле влияют габаритные размеры агрегатов, которые должны соответствовать технологическим возможностям имеющегося в промышленности оборудования. Стыковые элементы агрегатов выполняются в основном из высокопрочных алюминиевых сплавов, но в некоторых конструкциях (вилчатое соединение) применяются высокопрочные стали и титановые сплавы.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ АГРЕГАТОВ

Накопленный заводами отрасли опыт по обработке агрегатов средних и тяжелых машин, а также создание станков с ЧПУ, значительно расширяющих технологические возможности, позволяют рекомендовать следующее.

1. Координирование двух агрегатов должно производиться по двум классным (3-й класс точности) отверстиям с жестким межцентровым расстоянием. Остальные отверстия, предназначенные для крепления стыкуемых агрегатов, должны выполняться с точностью не выше 4-го класса с учетом зазора по болту.

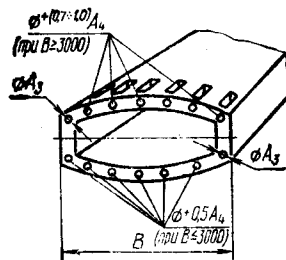


Рис. VI.5.1. Рекомендуемые диаметры отверстий для стыковки агрегатов.

2. Зазор между телом болта и крепежным отверстием должен быть не менее 0,5 мм при ширине агрегата до 3000 мм и 0,7—1,0 мм при ширине свыше 3000 мм (рис. VI.5.1).

3. Кроме стыковых колодцев, рекомендуется выполнять отверстия (рис. VI.5.2). Создаваемое в настоящее время специализированное оборудование предусматривает этот вид операций и обеспечивает необходимую соосность с отверстиями, перпендикулярными плоскости разреза.

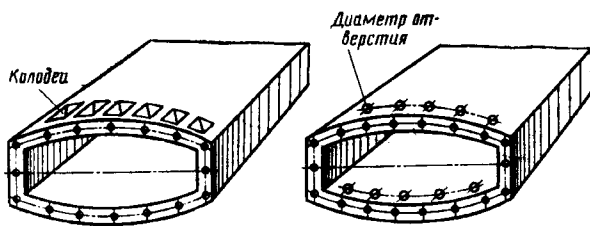


Рис. VI.5.2. Технологичные конструкции стыковых колодцев.

4. Оси стыковых колодцев, отверстий и пазов следует проектировать перпендикулярно строительной плоскости агрегата (рис. VI.5.3).

5. Стыковые отверстия и параметры вертикальных колодцев, отверстий, пазов должны быть одного размера и одинаковой конфигурации, что значительно сокращает трудоемкость и цикл обработки агрегатов (рис. VI.5.4).

6. Стыки смешанные (фланцевый и ленточный, фланцевый и вилчатый) являются весьма нетех-

нологичными, их не рекомендуется предусматривать в изделиях (рис. VI.5.5 и VI.5.6).

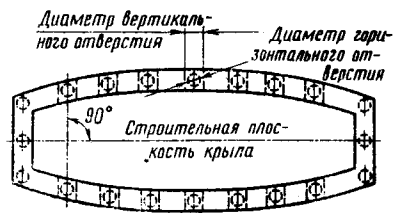


Рис. VI.5.3. Технологичность расположения осей колодцев в агрегате.

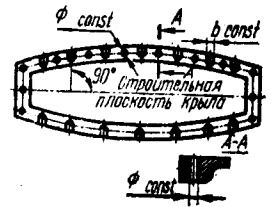


Рис. VI.5.4. Унификация стыковых элементов.

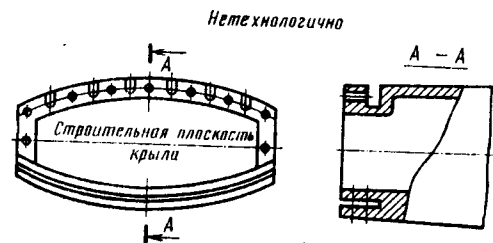


Рис. VI.5.5.

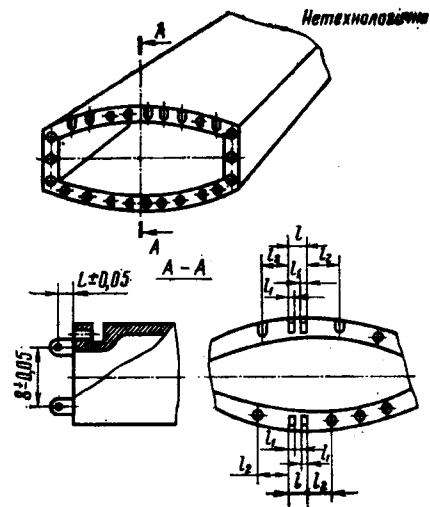


Рис. VI.5.6.

7. Подрезку торцов стыковых отверстий и пазов со стороны карманов предусматривать методом фрезерования. Обработка торца методом цекования нетехнологична и требует применения ручного труда (рис. VI.5.7).

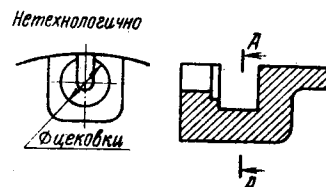


Рис. VI.5.7. Нетехнологичный вариант стыкового элемента конструкции.

8. Необходимо проставлять справочные габаритные размеры агрегатов (рис. VI.5.8).

9. Координаты расположения горизонтальных отверстий (пазов) задавать в математическом виде от строительной плоскости крыла (рис. VI.5.9).

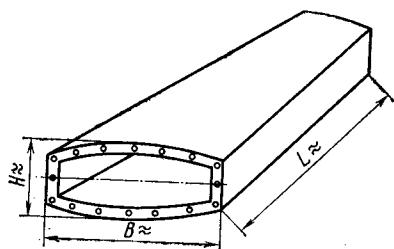


Рис. VI.5.8. Пример необходимой простановки справочных габаритных размеров агрегатов.

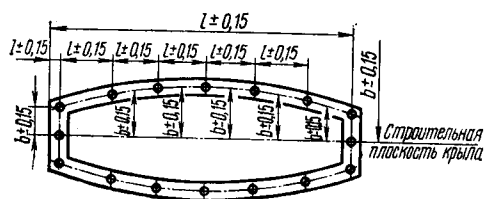


Рис. VI.5.9. Пример задания положения стыковочных отверстий в агрегате.

10. Шероховатость обработки сопрягаемых поверхностей назначать не выше $Rz \sqrt[2,5]{V}$, классных отверстий — $\sqrt[40]{V}$, остальных обрабатываемых мест — $Rz \sqrt[40]{V}$.

ОБОРУДОВАНИЕ

В настоящее время для разделки плоскостей разъемов агрегатов используется станок модели ФР-20.

Максимальные габаритные размеры агрегатов, обрабатываемые данным станком:

ширина плоскости разъема, мм	7000
высота агрегата по дужке, мм	1850
угол наклона стыкуемой плоскости, град	8

Применяемые схемы компоновок из станков модели ФР-20 и специальных стенов приведены на рис. VI.5.10—VI.5.12.

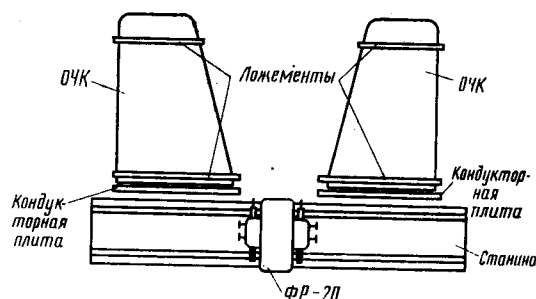


Рис. VI.5.10.

Агрегаты с большими габаритными размерами предполагается обрабатывать на специальном мно-

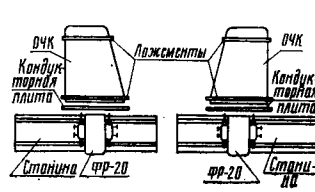


Рис. VI.5.11.

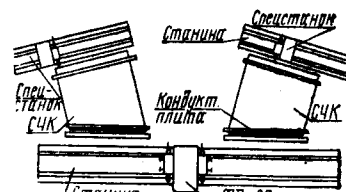


Рис. VI.5.12.

гокоординатном, трехголовочном станке с ЧПУ модели ФРС-1 (2, 3) с параметрами обработки:

продольное перемещение, мм	8000 (16 000, 24 000)
вертикальное перемещение, мм	2200
поперечное перемещение, мм	300
угловое перемещение головок в двух плоскостях, град	±25

Агрегаты со сложнофасонными технологическими стыками в виде конических поверхностей можно обрабатывать на 5-координатном станке с ЧПУ модели НС66А-Ф4 производства НЗТСИГ с параметрами:

продольное перемещение, мм	6000 (может быть увеличено за счет секционности станины)
вертикальное перемещение, мм	2400
поперечное перемещение, мм	1800
угловое перемещение головки, град:	
вокруг вертикальной оси	+15 -135
вокруг продольной оси	±28

Глава 6. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НА СТАНКАХ С ПУ

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ), нашедшие широкое применение на предприятиях отрасли, являются в настоящее время наиболее перспективным средством автоматизации механической обработки, сочетающим точность и производительность станков-автоматов с гибкостью универсального оборудования.

Эти станки позволяют автоматизировать обработку деталей сложной формы, повысить качество изготовления деталей, применить оптимальные режимы резания, высвободить высококвалифицированных рабочих-станочников, облегчить труд рабочих и повысить культуру производства. В ближайшем будущем применение станков с ЧПУ позволит

создать многономенклатурные автоматические линии и автоматизированные участки, управляемые от ЭВМ.

Кроме непосредственного экономического эффекта в сфере изготовления деталей, станки с ЧПУ призваны обеспечить:

— сокращение цикла проектирования и запуска опытных изделий, а также цикла подготовки производства серийных изделий за счет централизованной подготовки программ в процессе проектирования и опытного производства с последующей передачей программ серийным заводам;

— повышение качества, надежности и ресурса изделий за счет предоставления конструкторам новых возможностей для улучшения конструкций деталей, снижения их массы, повышения точности и усталостной прочности.

Таковыми возможностями являются:

1. Использование равнопрочных (плавноизменяющихся) сечений стенок и полок взамен ступенчатых (рис. VI.6.1), что позволит снизить массу деталей.

2. Гарантия высокой идентичности деталей, что значительно облегчит процессы сборки, исключая влияние индивидуальных особенностей рабочего-станочника.

3. Применение сложных контуров и поверхностей (в том числе поверхностей двойной кривизны), которые могут быть автоматически обработаны на станках с ЧПУ.

4. Уменьшение поля допуска на обработку с учетом высокой точности, достигаемой на станках с ЧПУ, что будет способствовать снижению массы и повышению точности обводов изделий.

5. Уменьшение конструктивных припусков на отстыковку деталей и агрегатов при сборке, что снизит трудоемкость ручных подгоночных работ.

6. Сохранение поверхностного слоя деталей, упрочненного наклепом при фрезерной обработке. Это возможно в том случае, если конструктор, учитывая, что визуально заметные следы фрезерования на поверхности детали не являются концентраторами напряжений, снизит требования к шероховатости поверхности, одновременно указав, что данная поверхность должна быть обработана на станке с ЧПУ без слесарной доработки.

7. Назначение дополнительной обработки поверхностей (например, в штампованной заготовке), ранее не обрабатывавшихся из-за высокой стоимости обработки на универсальных станках, что позволит снизить массу детали.

8. Выполнение цельными сложными крупногабаритных деталей, которые ранее выполнялись составными, что упростит конструкцию и позволит снизить ее массу.

Общие требования технологичности к деталям, обрабатываемым на станках с ЧПУ, не отличаются от требований к соответствующим классам деталей, изложенным в настоящем руководстве.

Однако необходимо указать на некоторые специфические условия, выполнение которых позволит снизить трудоемкость подготовки программ, сократить цикл подготовки производства и повысить эффективность использования станков с ЧПУ.

ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

1. При обработке детали требуется строгая ориентация ее относительно координатных осей станка и исходной точки траектории движения инструмента, в связи с чем при проектировании необходимо обеспечить возможность жесткого базирования детали на станке путем применения двухкоординатно-фиксирующих отверстий (КФО), максимально разнесенных по габаритному размеру детали и выполненных с достаточной точностью как по диаметру, так и по межцентровому расстоянию, проекция которого на оси координат станков должна быть выбрана кратной 100 мм (для мелких деталей допускается кратность 50 мм).

В случае длинномерных нежестких деталей базовое расстояние должно быть не более 1000 мм, при этом количество КФО может быть более двух.

Диаметр КФО должен назначаться в соответствии с габаритными размерами детали (см. таблицу).

мм		Допустимый диаметр КФО
Габаритные размеры детали		
До 100		4A ₃
Св. 100 до 200		6A ₃
» 200 » 1000		10A ₃
» 1000		16A

2. Расположение КФО назначается конструктором, проектирующим деталь, при этом предпочтительным является совмещение этих отверстий с конструктивными отверстиями, как это показано на рис. VI.6.2.

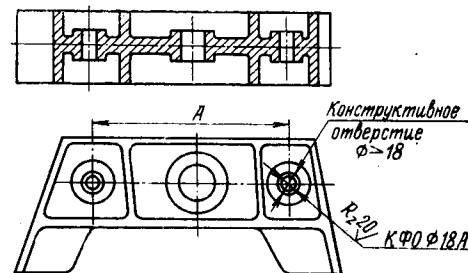


Рис. VI.6.2. Расположение КФО.

Если с конструктивным отверстием может быть совмещено только одно КФО, то другое можно расположить в местах, предусмотренных для вскрытия сквозных окон и проемов облегчения, в теле детали (рис. VI.6.3) или же в специальном технологическом припуске вне контура детали.

3. Правые и левые детали и детали с двусторонней обработкой необходимо проектировать симмет-

ричными, что позволит обрабатывать их по отраженной программе (рис. VI.6.4, VI.6.5).

4. При наличии конструктивных элементов, расположенных возле стенки (приливов и т. д.), необходимо обеспечить доступ режущего инструмента к стенке путем выбора расстояния $a \geq 2R$ (рис. VI.6.6, а или изменения конструкций детали, рис. VI.6.6, б).

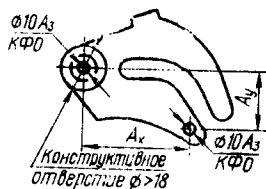


Рис. VI.6.3.

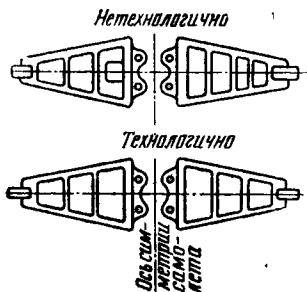


Рис. VI.6.4. Симметричность правых и левых деталей.

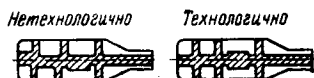


Рис. VI.6.5. Симметричность деталей.

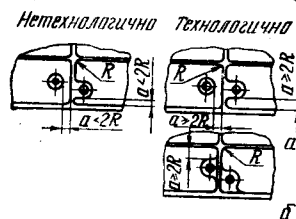


Рис. VI.6.6. Расположение конструктивных элементов возле стенок.

5. При проектировании малкованных ребер следует стремиться выполнить следующие условия:

- постоянство малки в пределах одного ребра;
- осреднение малок на возможно большем количестве ребер;
- выполнение малок только там, где это необходимо по условиям стыковки.

6. Для уменьшения объема ручной слесарной доработки предусматривать уступ до 0,3—0,5 мм в месте сопряжения стенки с полкой, как это показано на рис. VI.6.7.

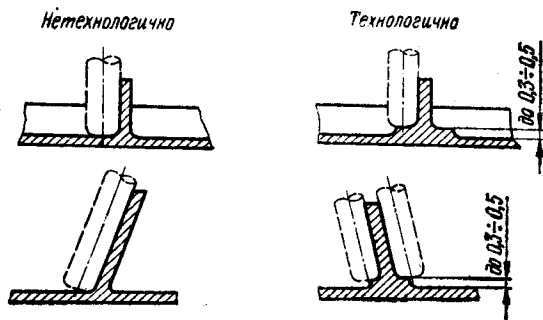


Рис. VI.6.7. Наличие уступов или сопряжение стенки с полкой.

7. Если глубина подсежки h (рис. VI.6.8) меньше, чем радиус сопряжения, следует при постановке допуска на ширину полки A учесть допуск на ра-

диус r , а допуск на ширину обнижения B принять равным удвоенному допуску на радиус r .

8. При проектировании деталей необходимо максимально использовать простые и однотипные конструктивные элементы, составленные из прямых и дуг окружности, что сократит затраты на подготовку программ.

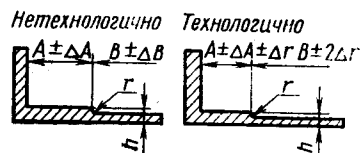


Рис. VI.6.8. Постановка допуска на ширину полки и обнижения.

Так, при проектировании панелей следует преимущественно применять ячейки прямоугольные в плане и с параллельными сторонами

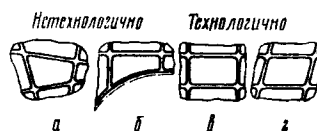


Рис. VI.6.9. Использование простых и однотипных элементов.

к минимуму количество их типоразмеров. Ячейки типа а (с непараллельными сторонами) и б (примыкающие к наружному обводу или проему) ограничить. Подсечки, определяющие изменение толщин полотна, проектировать в виде прямых линий и располагать параллельно сторонам ячейки (рис. VI.6.10).

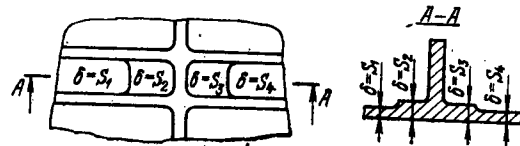


Рис. VI.6.10. Расположение подсечек.

9. Скошенные ребра проектировать с учетом обработки их на станках с ЧПУ, путем вертикального перемещения инструмента (рис. VI.6.11). В этом случае допускать на прямой кромке ребра след от радиусного инструмента, глубина которого не превышает допуска на точность изготовления детали.

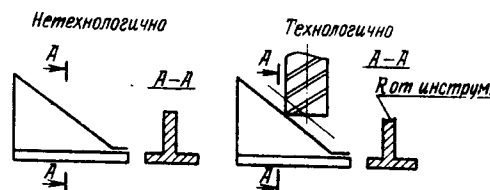


Рис. VI.6.11. Обработка скошенных ребер.

10. При проектировании высоких ребер следует обеспечивать их жесткость, необходимую и достаточную для механической обработки с высокопроизводительными режимами. Для этого соотношение высоты ребра H к его толщине b (рис. VI.6.12) не должно превышать $\frac{H}{b} \leq 10$.

Радиус сопряжения ребра со стенкой (рис. VI.6.13), определяющий диаметр концевой

фрезы, применяемой для обработки ребер, для обеспечения достаточной жесткости фрезы должен выбираться из соотношения:

- для легких сплавов $R \geq \frac{1}{6} H$;
- для сталей $R \geq \frac{1}{3} H$;
- для труднообрабатываемых материалов $R \geq \frac{1}{2} H$.

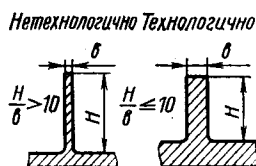


Рис. VI.6.12. Жесткость высоких ребер.

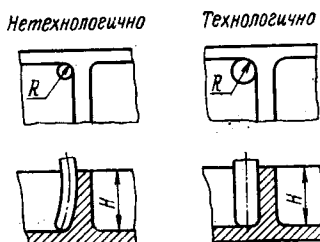


Рис. VI.6.13. Радиус сопряжения ребра со стенкой.

При назначении радиуса сопряжения стенок и полок деталей из труднообрабатываемых материалов, обрабатываемых концевыми фрезами, пользоваться соотношением

$$R = \frac{D_{\text{фр}}}{2} + 2,$$

где R — радиус сопряжения;

$D_{\text{фр}}$ — диаметр фрезы,

что позволит при программировании избежать зарез.

11. Во всех случаях при проектировании элементов деталей радиусы закруглений по стенкам R следует предусматривать возможно большими, а радиусы сопряжений стенок с полками r возможно меньшими, что позволит при обработке применять фрезы большего диаметра и с большей поверхностью торца (рис. VI.6.14), позволяющей сократить число проходов при обработке дна колодца (кармана).

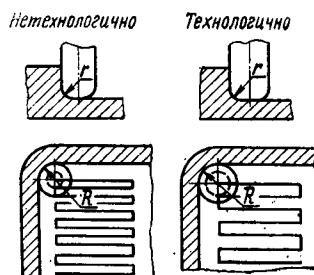


Рис. VI.6.14.

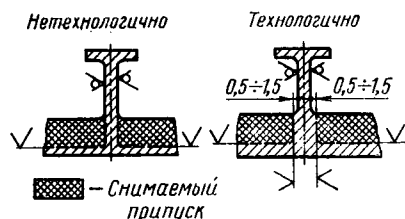


Рис. VI.6.15. Обработка одного конструктивного элемента.

12. В пределах одного конструктивного элемента (колодца, кармана, ячейки и т. д.) не допускать сопряжения обрабатываемых и необрабатываемых поверхностей. Как исключение, при необходимости такого сопряжения, предусматривать уступ в пределах 0,5—1,5 мм (рис. VI.6.15).

13. Максимальные размеры обрабатываемых на станках с ЧПУ деталей должны соответствовать паспортным данным станков (см. табл. VI.3.2).

ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

1. В деталях типа тел вращения, базируемых при обработке на центровые отверстия, необходимо:

- предусмотреть торцевые поверхности, достаточные по величине, для упора в торец промежуточной втулки в целях достижения совмещения установочной и измерительной баз (рис. VI.6.16);

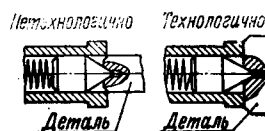


Рис. VI.6.16. Размер торцевых поверхностей.

— ограничить угол фасок по торцам деталей величиной $< 30^\circ$ для обеспечения доступа инструмента при обработке фаски, с учетом суммарного допуска на длину заготовки a и на диаметр центрального отверстия b и с обеспечением расстояния безопасности C (рис. VI.6.17).

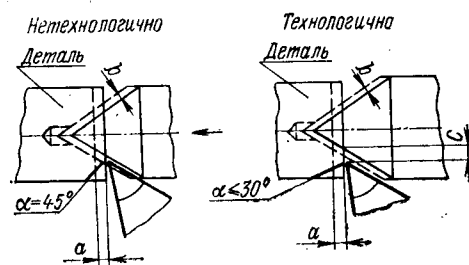


Рис. VI.6.17. Угол фасок по торцам деталей.

2. В конструкциях деталей, где это возможно, допускать риски от поводкового центра, передающего крутящий момент через рифления, вдавливаемые в поверхность заготовки (рис. VI.6.18).

3. Для увеличения жесткости резца соотношение высоты элемента l к ширине a должно быть не более $l \leq 3a$. При большем соотношении размеров элемент должен быть заменен другим, более технологичным (рис. VI.6.19).

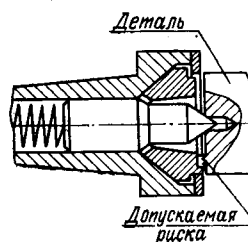


Рис. VI.6.18. Наличие риска в конструкциях деталей.

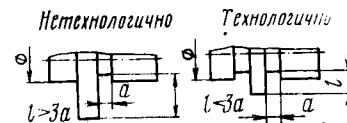


Рис. VI.6.19. Соотношение высоты к ширине элемента.

4. При проектировании деталей предусмотреть унификацию канавок и фасок (рис. VI.6.20, VI.6.21).

5. В конструкциях деталей назначать углы конусности элементов так, чтобы была обеспечена

обработка детали стандартными высокопроизводительными проходными резцами. Избегать конструкций, требующих применения специальных (радиусных) резцов (рис. VI.6.22).

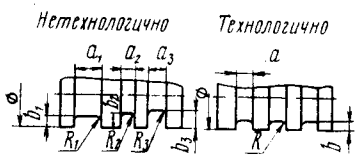


Рис. VI.6.20. Унификация канавок и фасок.

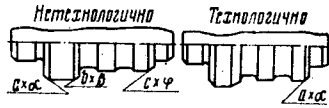


Рис. VI.6.21. Назначение углов конусности элементов.

6. При проектировании внутренних поверхностей деталей, соотношение длины L обрабатываемого элемента к диаметру d наименьшего сечения должно быть выполнено в пределах $L \leq 5D$ (рис. VI.6.23).

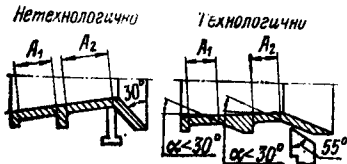


Рис. VI.6.22.

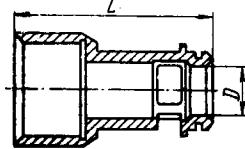


Рис. VI.6.23.

ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ

Многоцелевые станки с ЧПУ с автоматической сменой инструмента способны выполнять операции сверления, растачивания, нарезания резьбы, фрезерования и операции контурной обработки по трем и более координатам без перезакрепления детали. Такие станки наиболее целесообразно использовать для обработки корпусных деталей.

1. Технологичной для многоцелевых станков является конструкция детали, обеспечивающая базирование заготовки на плоскость и два максимально разнесенных по размеру цилиндрических отверстия с параллельными осями. Такая конструкция детали определяет простоту крепления, возможность использования единой базы на различных операциях и свободный подход режущего инструмента к обрабатываемым поверхностям с разных сторон (рис. VI.6.24).

Для обеспечения условий устойчивости детали размеры базовой плоскости должны быть больше или сопоставимы с высотой детали (рис. VI.6.25).

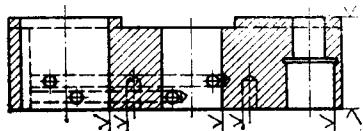


Рис. VI.6.24.

2. Для обеспечения нормализации базирующих приспособлений и промежуточных плит, межцентровые размеры должны быть заданы в прямоугольной системе координат числами, кратными 10 мм для деталей с габаритными размерами до 100 мм и кратными 20 мм для деталей с габаритными размерами свыше 100 мм.

3. В конструкциях корпусных деталей избегать глубоких отверстий, получаемых механической об-

работкой. Для обеспечения необходимой жесткости инструмента при обработке необходимо соблюдать соотношение длины отверстия l к диаметру D в пределах $l \leq 5D$.

4. При проектировании корпусных деталей необходимо стремиться к тому, чтобы обрабатываемые элементы находились по возможности на одном уровне, что позволит избежать применения нежесткого длинного инструмента. Перепадов высоты поверхности детали следует избегать (рис. VI.6.26).

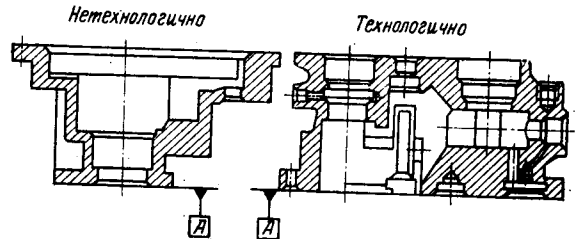


Рис. VI.6.25.

5. Оси обрабатываемых отверстий должны располагаться под прямым углом к базовой плоскости (рис. VI.6.27).

6. При необходимости сохранения в конструкции детали наклонных отверстий (А и Б, см. рис. VI.6.27) предусматривать плоскости, перпендикулярные осям этих отверстий и подготовленные фрезерованием.

7. Не применять кольцевые канавки для выхода резьбы, предусматривая увеличение глубины отверстия, необходимое для сбега резьбы (рис. VI.6.28).

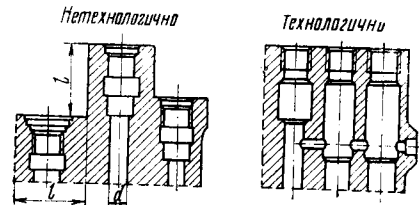


Рис. VI.6.26. Расположение осей обрабатываемых отверстий.

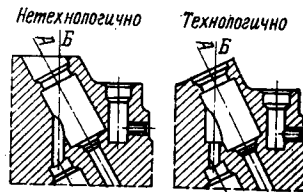


Рис. VI.6.27.

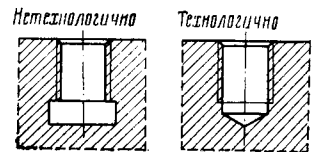


Рис. VI.6.28.

8. Отверстия располагать по возможности симметрично относительно оси симметрии детали. Ограничивать число типоразмеров отверстий.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

К чертежам деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, не предъявляются какие-либо особые требования, противоречащие стандартам ЕСКД.

Необходимо соблюдать следующие дополнительные правила оформления чертежей, облегчающие процесс программирования:

1. Чертеж рекомендуется выполнять в масштабе 1:1, соблюдая единый масштаб по всему полю чертежа.

2. Нанесение всех размеров рекомендуется производить в системах прямоугольных координат от конструктивных баз детали, выбранных в соответствии с общими рекомендациями (рис. VI.6.29).

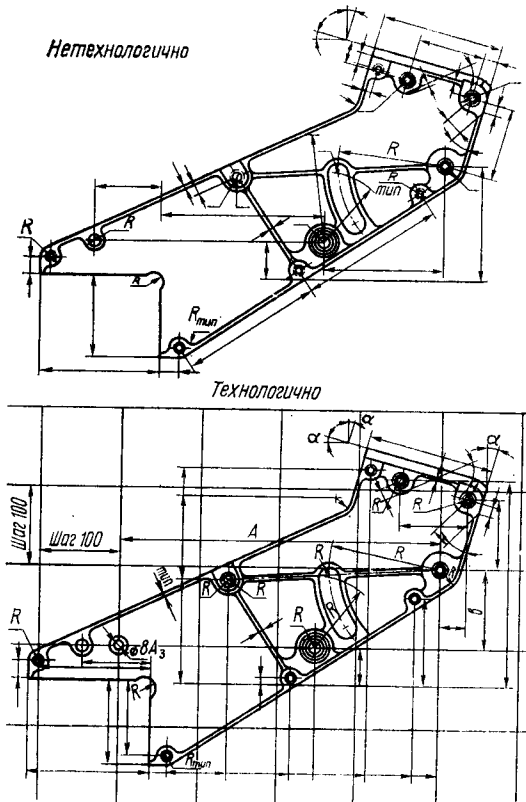


Рис. VI.6.29.

3. Желательно наносить размеры, определяющие положение всех центров окружностей, за исключением центров конструктивных типовых радиусов сопряжения стенок детали (рис. VI.6.30).

4. При наличии большого количества однотипных элементов детали (например, отверстий) следует применять координатный способ нанесения размеров с указанием размерных чисел в сводной таблице к каждому виду чертежа.

5. При нанесении размеров на чертежах деталей типа панелей толщину полотна и подсечек следует указывать в плановой проекции со знаком S (см. рис. VI.6.10), что не исключает обычной простановки размеров в сечениях.

6. В чертежах деталей, в том числе и сопрягаемых с теоретическими обводами, должна содержаться полная информация, необходимая для геометрического построения детали без обращения к плазу.

7. Для облегчения программирования деталей, контуры которых состоят из дуг окружностей и участков прямых, они должны быть заданы следующим образом:

дуги окружностей — координатами центра и радиусом;

участки прямых — координатами двух точек или координатами одной точки и углом наклона прямой.

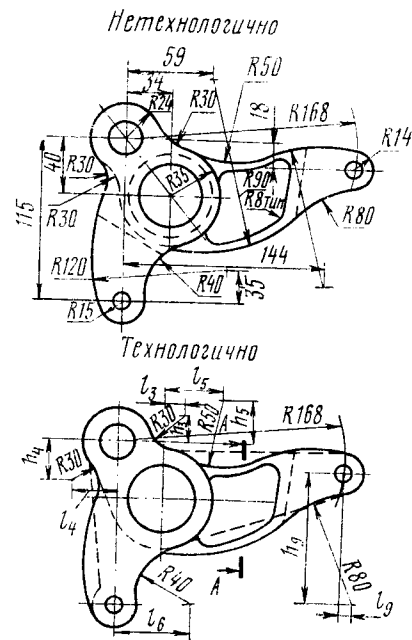


Рис. VI.6.30.

8. Контур детали, увязанный с аэродинамическими обводами агрегатов через промежуточные элементы, должны ограничиваться не линиями, эквидистантными теоретическому обводу, а простыми геометрическими элементами (участками прямых и дуг окружностей) с нанесением на конструктивном чертеже всех размеров, определяющих контур детали.

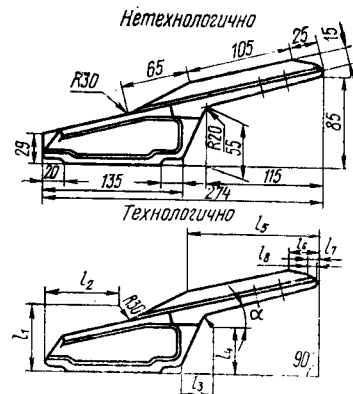


Рис. VI.6.31.

9. На чертежах деталей, контуры которых входят в аналитически заданный обвод агрегата и определяют его аэродинамические формы, должны быть даны координаты плоскости расположения детали в системе координат агрегата.

10. Наклонные плоскости задавать углами по отношению к осям рис. VI.6.31.

Глава 7. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ УНИФИКАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Комплексная нормализация основывается на типизации и нормализации технологических процессов. Чем больше степень унификации размеров конструкций деталей и их элементов, тем лучше условия для типизации технологических процессов и применения преемственной и базовой оснастки.

Основой для типизации и нормализации технологических процессов, а также для унификации деталей является технологическая классификация механообрабатываемых деталей, которые разделяются на три категории.

Нормализованные детали — детали с одинаковой конфигурацией и с ограниченным количеством типоразмеров. Эта категория деталей нормализуется по союзным и отраслевым нормам. На них могут быть разработаны нормализованные технологические процессы, применение которых целесообразно в условиях массового производства на специализированных заводах.

Типизируемые детали — детали, неоднократно повторяющиеся с незначительными конструктивными отличиями в одной или в различных типах машин (панели, шпангоуты, лонжероны и др.). На эту категорию деталей могут быть разработаны типовые технологические процессы и использовано одинаковое оснащение (оборудование, приспособления и инструмент).

Уникальные детали — индивидуальные детали сложной конфигурации, специфичны только для данной конструкции машины. Эти детали требуют разработки сугубо индивидуальных технологических процессов и создания специального оснащения и поэтому не подлежат классификации.

В настоящее время каждое ОКБ создает свои многочисленные нормалы на однотипные детали, в результате чего на одинаковые детали приходится создавать на заводах новые технологические процессы и изготавливать новую оснастку. В качестве неоправданного разнообразия аналогичных деталей можно привести: петли, тяги, замки для пристяжных ремней, крепления электрожгутов и другие детали, встречающиеся в различных конструкциях самолетов.

При анализе петель, идущих на три самолета легкого типа одного конструкторского бюро, установлено (см. рисунок):

а) для изготовления петель применяются самые разнообразные материалы: из 29 наименований петель 19 изготавливаются из МА8, 6 — из Д16Т, 2 — из МЛ5 и 2 — из Д1Т;

б) виды заготовок: 17 наименований из листа, 3 — из пресованных профилей, 1 — из литья, 8 — из полосы;

в) многие детали отличаются друг от друга лишь незначительным изменением одного-двух размеров.

Например, петли, порядковые номера которых 4 и 5, отличаются лишь на 0,2 мм толщиной хвостовика. При сопоставлении конструктивных размеров, применяемых материалов и видов заготовок 29 наименований петель можно свести к шести, изготовленным из пресованных профилей Д16 и В95.

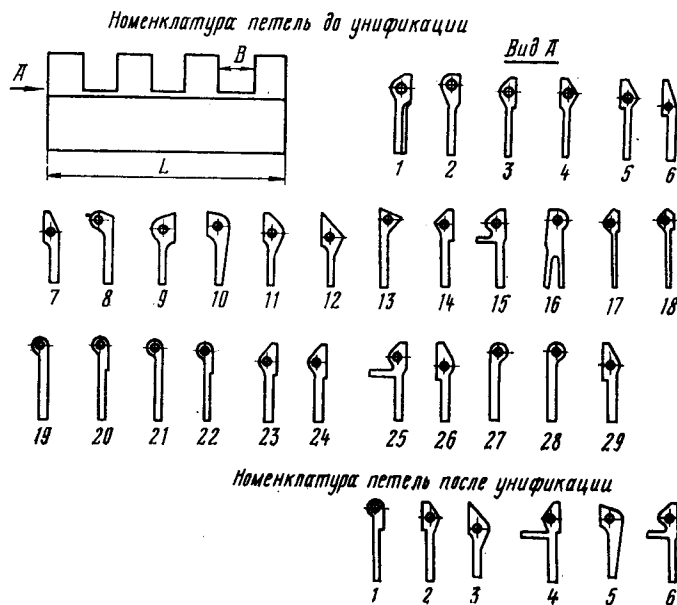
Такая унификация позволит

— снизить трудоемкость изготовления петель на 80%;

— повысить коэффициент использования материала с 0,09 до 0,7;

— сократить число разрабатываемых операций с 174 до 24;

— увеличить количество применяемой нормализованной оснастки с 20 до 85%.



Поэтому при создании новых конструкций нужен тщательный анализ номенклатуры деталей, после чего следует подробно изучить типовую деталь каждой классификационной группы. Технологический классификатор и рекомендации, разработанные НИИАТом по улучшению технологичности типовых деталей, являются основой для проработки конструкторами ОКБ и СКО всех однотипных деталей, входящих в данную группу. Такой подход позволит более широко унифицировать детали и их конструктивные элементы, что значительно улучшит систему проектирования технологических процессов и оснастки, а также организацию производства машин.

В основу классификатора механообрабатываемых деталей положен конструктивно-технологический принцип, согласно которому все детали делятся на классы. Ниже приведены наименования, обозначения, конструктивные и технологические характеристики классов (см. таблицу).

Используя классификатор при проектировании изделия, необходимо стремиться к созданию наименьшего количества уникальных (индивидуальных) деталей и наибольшего количества нормализованных и типизируемых деталей. Это позволит

— создать основу для широкой унификации приспособлений, оборудования и инструмента;

— сократить трудоемкость и цикл разработки технологических процессов на 30—50%, а также сроки технической подготовки производства машин;

— широко использовать серийные процессы в мелкосерийном и опытном производствах;
 — сократить сроки внедрения расчетно-технических норм и распространить их на большее количество изделий;
 — упростить порядок утверждения технологических процессов на заводах;

— снизить трудоемкость механообрабатываемых деталей и значительно уменьшить стоимость машин.

Подробный «Технологический классификатор механообрабатываемых деталей самолетов» разработан НИАТом в 1960 г. и используется на предприятиях отрасли.

Классификация механообрабатываемых деталей

Обозначение класса	Наименование деталей	Детали, входящие в класс	Характеристика класса	
			конструктивная	технологическая
A	Арматура одноосная	Штуцеры, ниппели, наконечники	Трубчатые детали со ступенчатой наружной и внутренней поверхностями, резьбой и гранями	Обработка наружной и внутренней многоступенчатых поверхностей вращения на токарных автоматах, револьверных, токарных или агрегатных станках; фрезерование граней
Ар	Арматура многоосная	Угольники, тройники, крестовины, корпуса кранов	Детали с несколькими отводами под углами, со ступенчатой наружной и внутренней поверхностями и резьбой	Обработка нескольких поверхностей вращения с осями, расположенными под различными углами, на токарных, револьверных или специализированных станках
B	Болты	Болты, винты, шпильки	Стержневые детали с резьбой и гранями или шлицами, с контрольными отверстиями	Обработка наружных поверхностей вращения на токарных и высачных автоматах, револьверных или токарных станках; фрезерование граней; нарезание и накатывание резьбы; сверление контрольных отверстий на сверлильных станках
Ба	Балки	Балки, лонжероны, нервюры, пояса (из горячештампованных заготовок)	Крупногабаритные силовые детали с теоретическим контуром, ушками, вилками, точными стыковыми отверстиями	Фрезерование контура по копиру или по программе на станках с ПУ, копировальных и универсальных; обработка стыковых отверстий и проушин
B	Втулки	Втулки, короткие полые валики L от 0,5 до $3d$	Полые цилиндрические детали, длина которых одного порядка с диаметром	Обработка наружных и внутренних гладких и ступенчатых поверхностей вращения на револьверных и токарных станках
Ва	Валы	Валы, оси, штоки, валики, штыри, штифты, пальцы, трубы	Круглые, гладкие и ступенчатые, сплошные и полые детали длиной $L \geq 3d$	Обработка наружных поверхностей на токарных, копировальных станках и станках с ПУ; фрезерование шпоночных канавок и шлицев; сверление отверстий
Г	Гайки	Гайки, заглушки	Круглые или граненые детали с внутренней резьбой и заглушки с наружной резьбой, со сквозным или глухим центральным отверстием	Обработка внутренней гладкой и ступенчатой поверхности вращения на токарных автоматах, револьверных и токарных станках Нарезание резьбы и сверление контрольных отверстий
Гр	Гребенки	Профили разъемов отсеков фюзеляжа, крыла, оперения	Детали из прессованных профилей, гнутые по теоретическому обводу, со стыковыми отверстиями на плоскости разбега, выходящими в колодцы	Фрезерование плоскости разбега, колодцев и сверление стыковых отверстий на универсальных, специализированных станках с ПУ, копировальных и универсальных. Сверление стыковых отверстий
Д	Длинномерные детали из прессованных профилей	Пояса лонжеронов, шпангоутов, нервюр, стрингеры, профили	Детали из прессованных профилей длиной от 1 до 30 м с переменной толщиной полок стенок и других элементов профиля, с вырезами и подсечками на полках, с крепежными отверстиями	Фрезерование переменного сечения элементов профиля по всей длине на специализированных станках, станках с ПУ и станках типа КУ-191. Фрезерование головок, подсечек и выборок, сверление крепежных отверстий на универсальных станках и станках с ПУ
З	Зубчатые детали	Шестерни, зубчатые секторы, звездочки	Цилиндрические и конические зубчатые детали с различной формой зуба, со сплошным гладким, ступенчатым хвостовиком или полые с гладким или ступенчатым отверстием	Обработка наружных и внутренних поверхностей вращения на револьверных и токарных станках. Обработка зубьев на зуборезных станках

Обозначение класса	Наименование деталей	Детали, входящие в класс	Характеристика класса	
			конструктивная	технологическая
К	Кронштейны	Кронштейны, корпуса подшипников, опорные плиты	Детали, имеющие плоское основание, одну или несколько опорных поверхностей, расположенных под заданными углами (ушковые, вильчатые, ложементные и другие опоры) и крепежные отверстия	Фрезерование плоскостей и поверхностей под заданными углами и сверление крепежных отверстий на универсальных и специализированных станках с ПУ
Ко	Корпусы	Корпусы, головки, узлы, шасси	Детали цилиндрической и прямоугольно-коробчатой формы с гладкими и ступенчатыми отверстиями в различных плоскостях	Обработка плоскостей разъемов, растачивание отверстий под заданными углами на универсальных и специализированных станках с ПУ
М	Моно-рельсы	Рельсы, нервюры и стенки с направляющими рельсами	Детали коробчатой, двутавровой формы с точно выполненными рабочими поверхностями для перемещения узлов механизации	Фрезерование контура, пазов на специализированных станках с ПУ и доводка радиусных рабочих поверхностей на специальном шлифовальном оборудовании и в том числе на станках с ПУ
Об	Объемные детали	Окантовки люков, лючки, каркас фонаря и другие каркасные детали	Детали каркаса сложной формы с поверхностями двойной кривизны, входящими в обвод самолета	Обработка поверхностей двойной кривизны и контуров проемов на специальных и специализированных многокоординатных станках с ПУ
П	Панели	Монолитные панели, листы обшивки	Монолитные крупногабаритные обшивки, совмещенные с элементами продольного и поперечного набора каркаса с переменной толщиной полотна, а также листы переменной толщины и сотовые панели	Обработка поверхностей полотна и ребер путем фрезерования на специализированных станках с ПУ и доработка на универсальных станках
Пл	Плоские детали	Прокладки, накладки, ленты, вкладыши, петли, грузы	Детали плоские простой формы, изготавливаемые из листа, горячей штамповки и литья	Обработка одной или нескольких плоскостей, контура и крепежных отверстий на универсальных станках
По	Поршни	Поршни, буссы, муфты, клапаны, золотники	Детали цилиндрической формы с фасонной, многоступенчатой наружной и внутренней поверхностями, с кольцевыми выточками, с наличием высокого класса шероховатости и точности размеров	Обработка наружных и внутренних поверхностей вращения на копировальных, токарных станках и станках с ПУ с последующим шлифованием и доводкой цилиндрических и конических поверхностей или торцов
Пр	Пружины	Пружины и детали из проволоки	Витые из проволоки, ленточные, точеные, пластинчатые пружины	Изготавливаются путем навивки на токарных и специальных станках (автоматах), точением на токарных станках. Пластинчатые детали изготавливаются путем холодной штамповки
Пр	Профили	Пояса, стрингеры и другие детали из прессованных профилей длиной до 1 м	Детали из прессованных профилей длиной до 1 м с переменной толщиной элементов профиля, с вырезами и подсеками на полках, с крепежными отверстиями в полках	Фрезерование переменного сечения элементов профиля по всей длине, подсечек, вырезов на полках и ребрах на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках с ПУ, сверление крепежных отверстий
Р	Рычаги	Рычаги, качалки, звенья, шасси	Детали, изготавливаемые способом горячей штамповки или литья с ушками, вилками на концах, с гладкими или ступенчатыми отверстиями в бобышках или ступицах	Фрезерование вилок, ушков; обработка отверстий путем протягивания, развертывания или растачивания на универсальных и специализированных станках с ПУ
Ро	Ролики	Ролики, барабаны, секторы с непараллельными канавками	Круглые детали и секторы с ручьями на наружной поверхности вращения, с центральным гладким или ступенчатым отверстием, со ступицей	Обработка фасонной наружной поверхности, гладкого или ступенчатого отверстия на токарных станках. Сверление отверстий в кондукторах
С	Сотовые заполнители	Сотовые заполнители дефлектора, спойлера, триммера, панелей и др.	Сотовые заполнители, имеющие выпуклые, вогнутые и плоские поверхности и их комбинации, а также подсежки, скосы	Обработка торцов сотовых заполнителей в сжатом состоянии производится на универсальных станках, фрезерование сложных сотовых заполнителей в растянтом состоянии — на специализированных станках с ПУ, фрезерование поверхности сотовых заполнителей, вклеенных в каркас, — на специальных установках

Продолжение табл.

Обозначение класса	Наименование деталей	Детали, входящие в класс	Характеристика класса	
			конструктивная	технологическая
Уп	Узлы поворота	Панели, балки узлов поворота	Детали, имеющие треугольную, коробчатую форму с переменной толщиной полотна, и крепежные отверстия	Обработка сложных поверхностей, выходящих на аэродинамический контур, карманов на специализированных станках с ЧПУ и обработка отверстий на универсальных станках
У	Ушки	Ушки, вилки, карданы, серьги, тяги сварные и сборные	Цилиндрические детали гладкие и с резьбой, с ушками и вилками	Обработка стержневой части фасонной головки и центрального отверстия на токарных автоматах, револьверных и токарных станках, ушков и вилок на фрезерных станках. Обработка отверстий в ушках и вилках
Ф	Фитинги	Фитинги	Детали со стыковыми поверхностями, расположенными под заданными углами, с ребрами и крепежными отверстиями	Фрезерование стыковых поверхностей, контуров основания, ребер и сверление крепежных отверстий на универсальных станках и на станках с ПУ
Фл	Фланцы	Фланцы, крышки с цилиндрическими поверхностями	Детали с круглыми и фигурными фланцами, с центральным гладким или ступенчатым отверстием и крепежными отверстиями на фланце	Обработка центрального гладкого или ступенчатого отверстия, торцов фланца и наружных поверхностей вращения на универсальных и специализированных станках с ПУ. Сверление крепежных отверстий по кондуктору
Х	Хомуты	Хомуты, зажимы, обоймы, колodки, крышки подшипников и откидные крышки	Детали плоские и фасонные с ложементной поверхностью под электропровода, трубопроводы, подшипники, вкладыши и т. д.; детали разъемные со стыковыми плоскостями и разжимные. Крышки откидные с ушками или проушинами	Обработка плоскостей разъема, отверстий крепления; фрезерование ушков и проушин у откидных крышек и полухомутов на универсальных станках
Ц	Цилиндры	Цилиндры, гильзы, стаканы, штоки крупногабаритные с высоким классом шероховатости	Детали с гладкой ступенчатой наружной и внутренней поверхностями вращения, с центральным глубоким сквозным или глухим отверстием, в том числе детали с высокой точностью и шероховатостью	Обработка наружных поверхностей вращения, глубокого или ступенчатого центрального отверстия (до и после закалки и сварки) на токарных станках. У некоторых деталей отдельные поверхности шлифуются и доводятся до требуемой шероховатости
Ш	Шайбы	Шайбы, кольца	Полые цилиндрические детали (L до $0,5 D$) с гладкой ступенчатой или фасонной наружной и внутренней поверхностями вращения	Обработка торцов и центрального отверстия на токарных автоматах; револьверных и токарных станках или получение деталей холодной штамповкой
Шп	Шпангоуты	Шпангоуты, полушпангоуты, кольца крупногабаритные	Крупногабаритные детали из прессованных профилей и горячей штамповки незамкнутого или кольцевого контура с ушками и вилками	Обработка контура по копиру или программе, а также обработка наружной и внутренней поверхностей вращения на крупногабаритных токарных и карусельных станках с последующим фрезерованием ушков, вилок и обработкой отверстий в них

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров М. Е., Дементьев В. И. и др. Технология машиностроения. М., «Высшая школа», 1965.
2. Елизаветин М. А., Сатель Э. А. Технологические способы повышения долговечности машин. М., «Машиностроение», 1964.
3. Инструкция ВИАМ № 933—68.
4. Картавов С. А., Левченко А. М. и др. Технология машиностроения. Киев, «Техника», 1965.
5. Каширин А. И. Технология машиностроения. М., Машгиз, 1964.
6. Кочетов Н. Н., Подъемщикова Е. К. Бездеформационная механическая обработка крупногабаритных деталей

из высокопрочных алюминиевых сплавов. Труды НИАТ № 254, 1968.

7. Кочетов Н. Н., Бармин Б. П., Каширин М. С. Определение оптимальной степени деформации при растяжении профилей.— «Технология легких сплавов» (ВИЛС), 1968, № 6.

8. Кочетов Н. Н., Кондратов А. С., Ипатов Н. С. Исследование и разработка способов уменьшения коробления при механической обработке деталей летательных аппаратов. Труды НИАТ № 368, 1977.

9. Механическая обработка деталей из сплавов В95 и Д16 по критерию минимального коробления. РТМ-975—74. НИАТ, 1975.

10. Механическая обработка с минимальными деформациями мало жестких деталей. ТР-603. НИАТ, 1974.
11. Справочник машиностроения. Т. 5., кн. II. М., Машгиз, 1964.
12. Способ механической обработки не жестких деталей. Авт. свид. № 515589.

13. РТМ-1448—74.
14. Отраслевая норма 722АТ, 1966.
15. Орлов П. И. Основы конструирования. М., «Машиностроение», 1968.
16. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. НИАТ, 1972.

Глава 1. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ И ИНСТРУМЕНТУ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Развитие авиационной техники тесно связано с созданием материалов, обладающих весьма разнообразными свойствами: жаропрочностью, жаростойкостью, прочностью, коррозионной стойкостью в различных средах и др. Особо высокие требования предъявляются к жаропрочности, так как ее повышение позволяет создавать машины с высокими техническими характеристиками. Изготовление изделий из таких сплавов увеличивает трудоемкость их обработки на металлорежущих станках вследствие снижения скоростей резания.

Приведенные в данном руководстве рекомендации нормативного характера по режимам резания и инструменту могут быть использованы технологами, конструкторами и другими работниками, разрабатывающими технологические процессы и режущий инструмент, а также создающими различные конструкции летательных аппаратов.

Рекомендации содержат данные, необходимые для выбора условий обработки авиационных материалов при различных ее видах, а также учета трудоемкости механической обработки при выборе материала конструкции.

Установленная обрабатываемость материала позволяет определить исходные режимы резания и трудоемкость изделий, а также основные требования к разработчикам, рациональный технологический процесс.

Диапазон скоростей при протягивании протяжек из быстрорежущих сталей рекомендуется в пределах 15–30 м/мин, при работе твердосплавными протяжками — в пределах 40–60 м/мин.

Условные обозначения:

- α — задний угол в град;
- γ — передний угол;
- f — фаска на передней поверхности;
- b — ширина стружкозавивающей канавки;
- R_1 — радиус стружкозавивающей канавки;
- R — радиус при вершине;
- ϕ_1 — вспомогательный угол в плане;
- ϕ — главный угол в плане;
- 2ϕ — угол между режущими лезвиями;
- ω — угол наклона спирали;
- z — число зубьев;
- B — ширина фрезерования;
- S — подача в мм на оборот;
- S_z — подача в мм на зуб;

- t — глубина резания;
- v — скорость резания;
- K_v — коэффициент обрабатываемости материала по скорости резания;
- ТС — твердый сплав;
- БС — быстрорежущая сталь.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПО ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ РЕЗАНИЕМ

В авиационной технике применяется большое количество марок сталей и сплавов со специальными свойствами, что вызывает необходимость их классификации по обрабатываемости резанием в целях облегчения выбора режимов резания технологами и конструкторами, разрабатывающими технологические процессы изготовления изделий.

В основу классификации положен химический состав, поскольку в основном от него зависит обрабатываемость материалов. По предлагаемой классификации все материалы разделены на 9 групп, в каждой из которых объединены материалы примерно одинакового химического состава, одинаковых механических свойств и близкой обрабатываемости резанием. Для каждой группы материалов выведены коэффициенты по скорости резания и примерные скорости резания, применяемые при обработке твердосплавным и быстрорежущим инструментом.

В случае применения сплава, не указанного в табл. VII.1.1, классификация дает возможность относить их к соответствующей группе и устанавливать для их обработки геометрические параметры инструмента и примерные режимы резания, что позволит приближенно определять трудоемкость механической обработки деталей и обоснованно планировать производство новых изделий.

В случае необходимости установления скоростей резания деталей из материалов III–VI групп их можно с достаточной для практики точностью установить по формуле

$$K_v^{\mathcal{E}} = \left(1 + \frac{i_3}{100}\right) |\Delta \mathcal{E}|^{\frac{|\Delta \mathcal{E}|}{\Delta \mathcal{E}}},$$

где \mathcal{E} — легирующий элемент;
 i_3 — интенсивность влияния легирующего элемента на обрабатываемость.

Таблица VII.1.1

Классификация материалов по обрабатываемости резанием и режимы резания при их обработке

Номер группы	Марка материала	σ , кгс/мм ²	Глубина t , мм	Подача s , мм/об	Ориентировочная скорость резания* при обработке		K_v по сравнению со сталью		
					ТС	БС	45	12X18H10T	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Теплостойкие, хромистые, хромоникелевые и хромомолибденовые стали перлитного и мартенситного классов									
I	X6CM, 34XH3M, 20X3MBФ (ЭИ415), 30XHA, 30XГСА, 40XH2MA, 16X3HВФМ6 (ДИ-39, ВКС-5)	60	5	0,1—0,4	170—250	30—65	0,7	1,4	
		90			145—180	25—40	0,6	1,2	
		120	3	0,1—0,3	75—95	15—30	0,3	0,6	
		150	3	0,1—0,2	35—55	—	0,15	0,3	
Коррозионно-стойкие, нержавеющие, хромистые и сложнолегированные стали ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов									
II	12X13, 25X13H2 (ЭИ474), 13X12H2BMФ (ЭИ961), 14X17H2 (ЭИ268), 11X11H2B2MФ (ЭИ962), 1X15H2MФАБК4-III (ЭП866Ш), 1X18H2M2K5B (ЭИ768Ш), X16H4B (ЭП56), ЭП517K	60	5	0,1—0,4	160—210	30—60	0,65	1,35	
		90			130—180	25—45	0,6	1,2	
		110	3	0,1—0,3	120—150	25—35	0,5	1,0	
		130	3	0,1—0,2	70—90	13—22	0,3	0,6	
Коррозионно-стойкие, кислотостойкие, жаростойкие хромоникелевые стали аустенитного и аустенитно-мартенситного классов									
III	X18HT, 20X23H18 (ЭИ417), X15H5Д2Г (ВНС-2), ВНЛ-3, 12X21H5Т (ЭИ811), X15H9Ю (ЭИ904), X17H5M3 (CH3), X15H9Ю (CH-2), X15H7ЮM2 (CH-4)	60	5	0,1—0,4	120—150	25—35	0,5	1,0	
		90	5	0,1—0,3	100—130	20—30	0,42	0,85	
		120	3	0,1—0,3	65—95	15—25	0,3	0,55	
Жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие, хромоникелевые, хромоникелевомарганцовистые сложнолегированные стали аустенитного класса									
IVa	45X14H14B2M (ЭИ69), ЭИ395, 12X25H16Г7AP (ЭИ835), 37X12H8Г8MФБ (ЭИ481)	60	5	0,1—0,3	100—120	20—28	0,4	0,8	
		85	3	0,1—0,3	70—90	13—25	0,3	0,6	
IVb	10X11H20T3P (ЭИ696), ЭП33, ЭИ696M, 15X18H12C4TЮ (ЭИ654), ЭИ435	70	5	0,1—0,2	40—60	12—20	0,18	0,35	
		100	3		35—50	8—12	0,15	0,30	
Жаропрочные деформируемые сплавы на железоникелевой и никелевой основах									
V	36HXTЮ (ЭИ702), ХН60В (ВЖ98, ЭИ868), ХН35ВТЮ (ЭИ787), ХН77ТЮ (ЭИ437А), ЭП99, ХН56ВМТЮ (ЭП199), ХН67ВМТЮ (ЭП202), ХН75МВЮ (ЭИ827), ХН62ВМК10 (ЭИ867), ХН60МВТЮ (ЭП487), ХН82ТЮМБ (ЭП460)	80	3	0,1—0,2	40—50	8—12	0,16	0,32	
		100			18—28	5—10	0,1	0,2	
		125			13—20	4—6	0,05	0,1	
Окалиностойкие и жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе									
VI	ВЛ45У, ЖС3-Д, ВЖ36-Л2, АНВ300, ЖС6-К, ХН67ВМТЮЛ (ЭП202Л), ВЖЛ1, ВЖЛ2, ВЖЛ8, ВЖЛ12, ВЖЛ14	60	3	0,1—0,3	18—25	6—10	0,08	0,15	
		80		0,1—0,2	8—12	4—6	0,04	0,08	
		100	3	0,1—0,2	6—10	3—4	0,03	0,05	
Сплавы на титановой основе									
VII	BT1, BT1-1, BT1-2, BT3, BT3-1, OT4, OT4-1, BT5, BT5-1, BT6, BT14, BT15, BT16, BT22, BT20, BT8, BT2	60	5	0,1—0,3	80—120	30—40	0,45	0,9	
		90	5	0,1—0,3	45—60	25—35	0,4	0,8	
		110	3	0,1—0,3	35—45	18—25	0,3	0,6	
		130	3	0,1—0,2	25—35	15—20	0,11	0,22	
		150	3	0,1—0,2	20—32	10—15	0,09	0,18	

Номер группы	Марка материала	σ , кгс/мм ²	Глубина t , мм	Подача s , мм/об	Ориентировочная скорость резания* при обработке		K_v по сравнению со сталью	
					ТС	БС	45	12Х18Н10Т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высокопрочные стали								
VIII	28Х3СНМФА (СП28), 30Х2ГСН2ВМ (ВЛ1), 33Х3СНМВФА (СП33), 28Х3СНМВФА (СП38), 42Х2ГСНМ (ВКС-1), 43ХСНМВФА (СП43),	125	2	0,1–0,2	60–85	20–30	0,25	0,50
	Х15Н5Д2ТМ2 (ВНЛ-3), Х12Н5М5Г (ВНЛ-5), (ВНС-5), Х15Н5МВФ (ВНС-16), Х12Н5М6Д (ВНЛ-8),	150	«	«	45–65	7–10	0,2	0,4
	Х19Н2К7МВФ (ВЛС-22), Х4Н5ГС2МВ (ВКЛ-4У),	160	«	«	40–60	5–8	0,18	0,35
	Х20Н2М5К13В (ВНС-23У), ВКС-210	170	«	«	35–55	4–5	0,15	0,30
		190	«	«	22–38	2–3	0,10	0,18
		200	«	«	18–28	—	0,08	0,15
		210	«	«	15–25	—	0,06	0,12
Цветные сплавы и неметаллические материалы								
IXa	Алюминиевые сплавы малой твердости, без кремния (Д1, Д16, АК2, АК4, АК6, АМгБ, 01925)	До 45	До 6	До 1	800–1000	Св. 1000	—	—
	Алюминиевые сплавы большой твердости, без кремния В92, В93, В95, В96Ц, ВАД23	Св. 45	До 6	До 1	600–800	1000	—	—
	Алюминиевые сплавы с незначительным содержанием кремния (1–5%) АВ, АД35, АЛ1, АЛ3, АЛ5, АЛ7, ВАЛ1	До 45	До 6	До 1	400–600	600–800	—	—
	Алюминиевые сплавы со средним содержанием кремния (5–13%) АЛ2, АЛ4, АЛ9, ВАЛ5	До 30	До 6	До 1	200–400	400–600	—	—
	Сплавы с повышенным содержанием кремния (свыше 13%) и Al_2O_3 , САС-1, САС-4, САП-1, САП-2, САП-3	До 40	До 6	До 1	—	100–400	—	—
IXб	Магниевые сплавы — МА5, ВМ65-1, ВМД-3, ВМД-6, МЛ10, ВМЛ1, ВМЛ4, ВМЛ10, ВМЛ7, ВМЛ14	До 35	До 10	До 15	До 600	До 2000	—	—
<p>* В таблице указаны примерные скорости резания и относительная обрабатываемость на операциях точения (s, t см. табл.), торцевого и концевого фрезерования (при $s_z=0,05 \div 0,15$ мм/зуб, $t=2 \div 5$ мм, $B=60 \div 100$ мм, $D_\phi=80 \div 160$ мм. Приведенные скорости резания соответствуют стойкости инструмента: 30–45 мин при точении, 60–90 мин при фрезеровании.</p>								

Значения i_3 для различных легирующих элементов следующие:

Э	С	Al	Ti	Si	Mo	Co	Mn	Cr	W	Ni	Nb	V
i_3	150	120	40	25	5	3,5	3	2	1,5	0	0	0

К I группе отнесены стали, характеризующиеся содержанием хрома до 6%, никеля до 3%, молибдена до 0,6%, ванадия до 0,8% и кремния до 2%. Они являются теплоустойчивыми материалами, применяются для изготовления деталей, работающих при температурах до 500–600 °С. Обрабатываемость сталей I группы вполне удовлетворительная, почти не отличается от обрабатываемости углеродистых и низколегированных сталей соответствующей прочности.

Стали II группы характеризуются высоким содержанием хрома (более 12%) и небольшим содержанием (до 4%) других легирующих элементов. Они применяются в основном для деталей, работающих при 500–550 °С. В эту группу объединены высокохромистые стали, которые после закалки и отпуска имеют $\sigma_B > 160$ кгс/мм². Обрабатываемость этих сталей в указанном состоянии соответствует обрабатываемости высокопрочных сталей VIII группы.

Однако поскольку основной припуск при обработке этих сталей срезается в отожженном состоянии, когда обрабатываемость их аналогична обрабатываемости высокохромистых сталей с $\sigma_B=85 \div 100$ кгс/мм², они отнесены ко II группе. С повышением прочностных характеристик сталей в результате их термообработки обрабатываемость высокохромистых сталей резко снижается, что вызывает необходимость применения инструмента из твердого сплава.

При обработке деталей из сталей II группы в отожженном состоянии получить поверхности высокого класса шероховатости затруднительно, особенно на операциях, когда обработанная поверхность формируется лезвиями инструментов значительной протяженности.

К III группе отнесены аустенитные стали, содержащие хрома более 15%, никеля более 5% и в небольшом количестве другие легирующие элементы. К этой группе отнесены также стали аустенитно-ферритного и аустенитно-мартенситного классов.

Скорости резания, применяемые при обработке деталей из сталей III группы, примерно в 2 раза ниже, чем при обработке стали 45.

К IV группе относятся сложнолегированные стали аустенитного класса, содержащие в большом количестве хром (12—25%), никель (более 5%) и в несколько меньшем количестве марганец, молибден, титан, вольфрам, ванадий и др. Обрабатываемость резанием деталей из сталей IV группы в 3—4 раза ниже обрабатываемости деталей из стали 45.

К V группе относятся жаропрочные деформируемые сплавы на никелевой и железоникелевой основах, легированные большим количеством хрома (10—20%) и несколько меньшим количеством титана, алюминия, вольфрама, молибдена и др. Обрабатываемость деталей из сплавов этой группы в 6—12 раз ниже, чем из стали 45.

Литейные жаропрочные сплавы отнесены к VI группе, они более легированы и вследствие этого более жаропрочны, чем деформируемые. Из-за неоднородности литой структуры их механические свойства значительно различаются. Литейные сплавы менее вязки, чем деформируемые, силы резания при их обработке значительно ниже, однако в этих сплавах имеется большое количество интерметаллидных и карбидных включений, которые сильно изнашивают инструмент.

При обработке литейных жаропрочных сплавов скорости резания в 12—20 раз ниже, чем при обработке стали 45.

Сплавы на титановой основе VII группы имеют широкий диапазон обрабатываемости резанием, которая зависит от предела прочности сплава.

Титановые сплавы активно взаимодействуют с газами при повышенных температурах, начиная с 600°C. Толщина окалины и глубина альфированного слоя зависят от температуры и длительности ее воздействия, поэтому на обрабатываемость влияет способ получения заготовки. Скорости резания, применяемые при обработке деталей из титановых сплавов без «корки», в зависимости от их предела прочности в 1,5—4 раза ниже скоростей резания, применяемых при обработке деталей из стали 45. При работе по «корке» скорости снижаются соответственно в 2 раза.

К VIII группе относятся низколегированные высокопрочные стали. В состоянии отжига их обрабатываемость идентична обрабатываемости обычных конструкционных сталей. После закалки, в зависимости от предела прочности, их обрабатываемость снижается в 5—8 раз. В связи с этим технологический процесс должен строиться таким образом, чтобы под закалку и отпуск оставался минимальный припуск, необходимый для устране-

ния возможных деформаций и чистовой обработки.

Алюминиевые и магниевые сплавы вынесены в отдельную IX группу, поскольку они обрабатываются со скоростями резания, в 5—10 раз превышающими скорости резания сталей. Режимы резания этих материалов ограничиваются скорее динамическими качествами станка, чем стойкостью инструмента.

РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Основными требованиями, предъявляемыми к материалам для изготовления режущей части инструмента, являются:

— высокие износостойкость и красностойкость (теплостойкость), определяющие уровень максимально допустимых значений скорости резания при данных условиях обработки;

— повышенные прочностные характеристики, прежде всего ударная вязкость, предел прочности при изгибе и сжатии, определяющие возможность применения данного инструментального материала для определенных условий резания.

Дополнительными требованиями к инструментальным материалам при обработке труднообрабатываемых материалов являются возможно большая теплопроводность и малое химическое сродство с обрабатываемым материалом. Исходя из этих условий для каждой пары материалов — инструмент и заготовка — установлен предельный режим резания, обусловленный красностойкостью инструмента и его разрушением.

Быстрорежущие стали и сплавы, применяемые в промышленности, можно разделить на три группы:

— стали нормальной теплостойкости (615—620°C), вольфрамовые (P18, P12, P9); вольфрамомолибденовые (P6M5, P6M3);

— стали повышенной теплостойкости (625—640°C), вольфрамокобальтовые (P9K5, P9K10); вольфрамованадиевые (P18Ф2, P14Ф4), вольфрамовые и вольфрамомолибденовые с кобальтом и ванадием (P10K5Ф5, P9M4K8Ф);

— сплавы высокой теплостойкости (700—725°C), безуглеродистые (B18M7K25, B18M4K25, B7K25); углеродистые (25B20K25ХФ, 3B20K16ХФ).

Рекомендации по применению быстрорежущих сталей оптимальных марок в зависимости от обрабатываемых материалов и видов инструмента, исходя из максимальной стойкости, с учетом рационального расходования вольфрама, даны в табл. VII.1.2.

Для обработки деталей из вышеуказанных материалов применяются инструменты из твердых сплавов:

— вольфрамокобальтовых (BK8, BK6M);

— титанокобальтовых (T5K10, T15K6, T30K4);

— титанотанталокобальтовых (TT10K8, TT20K9).

Каждая группа твердых сплавов различается по химическому составу, физико-механическим и эксплуатационным свойствам.

Сплавы вольфрамокобальтовой группы при одинаковом составе отличаются размерами зерен карбидных составляющих, что определяет различие свойств и область их применения:

— крупнозернистые с величиной зерен 3—5 мкм;

Таблица VII.1.2

Инструментальные быстрорежущие стали для обработки деталей из авиационных материалов

Номер группы	Резцы	Фрезы		Сверла, зенкеры	Развертки	Протяжки	Метчики
		торцевые	концевые цилиндрические				
I	P6M5 P12	P6M5 P12	P6M5 P12	P6M5 P12	P6M5 P12	P6M5	P6M5 P12
II	P9K5 P6M5	P9M4K8Ф P9K5	P9M4K8Ф P9K5	P9M4K8Ф P9K5	P9M4K8Ф P10K5Ф5 P9K5	P9K5 P9M4K8Ф P18	P9M4K8 P9K5 P18
III							
IV	P12Ф2К8М3 P12Ф2К5М3	P12Ф2К8М3 P9M4K8Ф	P12Ф2К8М P9M4K8Ф	P12Ф2К8М P9M4K8Ф	P9M4K8Ф P12Ф2К8М P10K5Ф5	P9K5 P9M4K8Ф P18	P9M4K8 P9K5 P18
V	P9M4K8Ф	P9K5 P6M5	P10K5Ф5 P9K10	P10K5Ф5 P9K10 P6M5K5	P9K5		
VI	P9M4K8Ф P12Ф2К8М3 P18Ф2К8М P10K5Ф5*	*	P9M4K8Ф P9K5 P10K5Ф5 P9K10**	P9M4K8Ф P12Ф2К8М P10K5Ф5** P9K5 P6M5K5	P9M4K8Ф P12Ф2К8М P10K5Ф5 P9K5**	P9K5 P9M4K8Ф	P9M4K8 P9K5 P18Ф2К8М
VII	B11M7K23 P8M3K6C P9M4K8Ф P9K10	B11M7K23 P8M3K6C P9M4K8Ф P9K10	B11M7K23 P8M3K6C P9M4K8Ф P9K5	B11M7K23 P9M4K8Ф P9K5 P9M3K6C	P9M4K8Ф P12Ф2К8М P6M5K5 P9M3K6C P12Ф3K10M3	P9K5 P9M4K8Ф P18	P9M4K8 P9K5 P18Ф2К8М
VIII	P9M4K8Ф P12Ф2К8М P18Ф2К8М P9K5**	*	*	*	*	P9M4K8Ф P9K5	P9M4K8 P9K P18Ф2К8М**
IX	P6M5	P6M5	P6M5 P6M5K5 P9K5	P6M5 P12	P6M5 P12	P12 P9M4K8Ф	P6M5 P9K5 P12

* Целесообразней применять инструмент из твердого сплава.

** Марку быстрорежущих сталей рекомендуется применять только в случае, если нельзя изготовлять инструменты из твердых сплавов.

— мелкозернистые с величиной зерен 0,5—1,5 мкм;

— особо мелкозернистые, имеющие 70% зерен менее 1 мкм.

Применяемость твердых сплавов на различных операциях приведена в табл. VII.1.3.

Композиционный материал на основе кубического нитрида бора (эльбор-Р) по режущим свойствам значительно превосходит инструменты из твердого сплава и минералокерамики. Силы резания при точении закаленных сталей значительно ниже, чем при точении резцами из быстрорежущей стали, и обеспечивают шероховатость на 1—3 класса ниже, чем резцы из твердого сплава. При обработке инструментом из эльбора образуются сжимающие остаточные напряжения, способствующие повышению прочности деталей при их циклическом нагружении.

Инструмент из эльбора рекомендуется применять на операциях точения, растачивания и фрезерования прецизионной обработки или взамен шлифования, а также при ремонтных работах.

Область применения и режимы резания инструментом из эльбора представлены в табл. VII.1.4.

Наилучшим инструментальным материалом для обработки высокоточных деталей из цветных металлов сплавов, пластмасс и других неметаллических материалов являются алмазные резцы.

При работе на проход алмазными резцами можно получить первый класс точности и шероховатость до 0,16 мкм, а при работе методом врезания шероховатость до $Rz=0,04$ мкм. Крепление алмаза осуществляется пайкой или механическим способом.

Рекомендуемые параметры резания представлены в табл. VII.1.5.

Геометрические параметры инструментов меняются в зависимости от конкретных условий работы: вида обрабатываемой детали и материала, типа инструмента и его назначения, требуемой точности и шероховатости поверхности и др.

Данные по выбору геометрических элементов при точении, фрезеровании и сверлении приведены в табл. VII.1.6.

Резцы. Для обработки большинства материалов применяют положительные передние углы γ . Оптимальные значения геометрических элементов зависят от подачи: с увеличением подачи значения γ

Таблица VII.1.3

Инструментальные твердые сплавы для обработки деталей из авиационных материалов

Номер группы	Точение и растачивание			Сверление			Фрезерование			Нарезание резьбы			Развер- тывание
	грубое	полу- чистовое	чистовое	перовые сверла	цельные сверла	напай- ные сверла	торцевые фрезы	концевые цилинд- рические	прорезка, отрезка	резцом	метчиками диаметром, мм		
											<8	>8	
I	T5K10	T15K6 МНТ-A2	T15K6 T30K4 КНТ-16	*	*	*	T15K6 T5K10	T15K6 T5K10 КНТ-16	BK6M BK8 BK10M	T15K6 КНТ-16	BK10M	*	T15K6
II	BK8 T5K10	T15K6 BK8 МНТ-A2	T15K6 BK3M BK6M КНТ-16	*	*	*	BK6M BK8	BK6M BK8 BK10M	BK10M BK6M BK8	15K6 КНТ-16	BK10M	*	BK60M BK6M
III	BK8 BK8B BK150M	BK6M BK8 BK100M T15K6	BK60M BK3M BK6M T15K6 КНТ-16	*	*	*	BK6M BK8	BK6M BK8 BK10M	BK10M BK6M BK8	BK6M	BK10M	*	BK60M BK6M
IV	BK8 BK150M	BK6M BK100M	BK60M BK3M T15K6 КНТ-16	*	*	*	BK6M BK8	BK6M BK8 BK10M	BK10M BK6M BK8	BK6M	BK10M	*	BK60M BK6M
V	BK8 BK150M	BK8 BK6M BK10M	BK60M BK3M	BK6M BK10M BK100M	BK8 BK10M	*	BK6M BK8 BK150M	BK6M BK8 BK10M	BK10M BK6M BK8	BK6M	BK10M	BK6M	BK60M BK6M
VI	BK8 BK150M	BK8 BK6M BK100M	BK60M BK100M BK3M ТТ10К8Б	BK6M BK10M BK100M	BK8 BK10M	BK6M BK8 BK10M	BK6M BK8 ТТ10К8Б	BK6M BK8 BK10M	BK10M BK6M BK8	BK6M	BK10M	BK6M BK100M	BK60M BK6M
VII	BK8 BK150M	BK8 BK6M BK4	BK3M BK60M BK100M	BK6M BK10M BK100M	BK8 BK10M	BK6M BK8 BK10M	BK4 BK6M BK8	BK6M BK8 BK10M	BK10M BK6M BK8	BK6M	BK10M	BK6M BK100M	BK60M BK6M
VIII		BK6M BK3M BK8	BK60M BK100M BK6M ЦМ332	BK6M BK10M BK100M	BK8 BK10M	BK6M BK8 BK10M	BK6M BK3M T30K4 КНТ-16	BK6M BK8 ТТ10К8Б BK10M	BK10M BK6M BK8 ТТ10К8Б	BK6M КНТ-16	BK10M	BK8 BK10M BK100M	BK60M BK6M
IX	T5K10 BK3	T15K6 BK6 МНТ-A2	T30K4 BK4 КНТ-16	*	*	*	T15K6 BK3	T15K6 BK4 КНТ-16	BK8 BK6M	T15K6 КНТ-16	*	*	BK8 BK6M

* Целесообразней применять инструмент из быстрорежущей стали.

необходимо увеличивать, а α немного уменьшать. Вспомогательный задний угол обычно принимают равным главному углу.

Для повышения прочности режущей кромки на передней поверхности затачивается фаска с размерами f и b , положительный угол наклона режущей кромки принимается до $10-15^\circ$.

Главный угол в плане выбирают минимально возможным, для жаропрочных и титановых сплавов обычно $\varphi = 45-60^\circ$, для цветных сплавов $\varphi_1 = 75-90^\circ$.

Фрезы. Требования к геометрии фрез аналогичны резцам. Угол наклона режущей кромки целесообразно устанавливать равным 0° , угол наклона спирали ω рекомендуется в пределах $40-45^\circ$.

При фрезеровании алюминиевых и магниевых сплавов число зубьев фрез уменьшается вдвое.

Сверла. Сверление деталей из теплостойких, нержавеющей и хромоникелевых нержавеющей сталей (I—III группы) следует производить стандартными сверлами с укороченной рабочей частью (до десяти диаметров); из жаропрочных и титановых материалов — сверлами по ГОСТ 20694—75 ÷ ГОСТ 20698—75. При сверлении отверстий малых диаметров целесообразно применять четырехленточные спиральные сверла, диаметром 3—7 мм используют цельные твердосплавные сверла, диаметром 4—20 мм и глубиной 5—20 диаметров следует применять сверление с вибрациями (табл. VII.1.7).

Развертки. Конструктивные параметры монолитных твердосплавных разверток рекомендуется выбирать по АН-2097 (НИАТ, 1968), напайных — по ОСТ 1.51336—72, ОСТ 1.51337—72 и АН-2347 (НИАТ, 1968).

Таблица VII.1.4

Области применения и параметры резания при обработке инструментом из поликристалла твердого нитрида бора

Материал	Твердость	Операция	Параметры резания								Ше-рохо-ва-тость	Точ-ность
			v, м/мин	s, мм/об	t, мм	γ	α	φ	φ ₁	R, мм		
						град.						
Конструкционные стали цементируемые типа 45, стали 20 и пр	HRC 45—62	Обточка	90—160	0,05—0,1	0,2—0,5	5—10	12—14	45—60	10—15	0,6—1,0	8—10	1—3
Легированные стали закаленные и цементированные типа 40Х, 30ХГСА, 12ХН3А, ШХ15, 18Х2Н4ВА, 12ХН3А, 20Х2М4А, ХВГ, Х12Ф1, У10А, У13 и пр.	HRC 35—50	Обточка, расточка, торцевание	70—120	0,05—0,1	0,2—0,5	(—10)—(—12) —9 —5	15—20 9 8	45—60	10—15	0,6—1,0	7—8	2—3
	HRC 50—65	фрезерование	60—100	0,05—0,1	0,2—0,5	—5		45—60	10—15	0,6—1,0	7—9	1—3
Чугуны	HB 220—255	Расточка, обточка	300—500	0,05—0,08	0,02—0,05	(—5)—(—10)	8—10	45—60	10—15	0,6—1,0	7—8	2—3
Металлокерамика на основе железа	—	Обточка, торцевание	120—140	0,05—0,08	0,02—0,05	0—5	8—10	45—60	10—15	0,6—1,0	7—8	2—3
Твердые сплавы ВК25, ВК20, ВК15, ВК10, ВК8	HRC 67—70	Обточка, расточка	15—20	0,05—0,1	0,2—0,5	(—20)—(—25)	6—8	45—60	10—15	0,6—1,0	7—9	2—3
Быстрорежущие стали Р18, Р9К5, Р18Ф2К8М и др.	HRC 67—70	Обточка, расточка, торцевание	50—85	0,05—0,1	0,2—0,5	(—10)—(—12) —9 —5	15—20 9	45—60	10—15	0,6—1,0	7—9	2—3
Стеклопластики типа АГ4С, АГ4В	—	То же	Св. 300	0,05—0,1	0,2—1	0—(—5)	6—8	45—60	10—15	0,6—1,0	6—7	2—3
Цветные сплавы на основе алюминия, магния и меди	HB до 200	Обточка, расточка, торцевание, фрезерование	Св. 300	0,07—0,12	0,2—1	5—15	8—10	45—60	10—15	0,6—1,0	—	—

Примечание. Торцевые фрезы следует затачивать со следующей геометрией: $\varphi=30\div60^\circ$; $\varphi_1=5\div10^\circ$; $\gamma=(-5)\div(-10^\circ)$; $\alpha=4\div6^\circ$; $r=0,6\div1,0$ мм.

Режимы резания при фрезеровании: $t=0,1\div0,5$ мм; $s_z=0,02\div0,06$ мм/зуб, скорость резания на 20–30% выше, чем при точении.

Таблица VII.1.5

Параметры резания при алмазном точении

Материал	v , м/мин	s , мм/об	t , мм	γ	α	φ	φ_1	R , мм
				град.				
Алюминиевые сплавы	450—600	0,01—0,10	0,01—0,15	0	10—12	75	15	0,2—0,5
Латунь, баббит	400—500	0,02—0,10	0,03—0,06	0	10—12	75	15	0,2—0,5
Бронза оловянистая	300—400	0,03—0,08	0,05—0,25	—8	8	75	15	0,2—0,5
Бронза свинцовистая	600—700	0,02—0,06	0,025—0,05	—8	8	75	15	0,2—0,5
Медь	350—500	0,01—0,06	0,01—0,3	5	8—12	75	15	0,2—0,5
Титановые сплавы	50—80	0,02—0,10	0,10—0,3	0	8—12	35—60	10—25	0,2—0,5
Пластмассы	200—350	0,03—0,06	0,05—0,3	0	8—12	45—90	15	0,2—0,5

Режимы резания в зависимости от обрабатываемого материала при точении, фрезеровании, сверлении и развертывании, а также коэффициенты обрабатываемости по отношению к стали 45 и стали 12Х18Н10Т представлены в табл. VII.1.1 и VII.1.8.

Рекомендуемые смазочно-охлаждающие жидкости и области их применения даны в табл. VII.1.9, VII.1.10.

Протягивание жаропрочных сталей и сплавов

Режимы резания:

подъем на зуб $s_z=0,04\div0,07$ мм — для чернового протягивания;

подъем на зуб $s_z=0,01\div0,025$ мм — для чистового (окончательного) протягивания;

скорость резания $v=1\div5$ м/мин;

Таблица VII.16

Геометрические параметры режущей части резцов, фрез и сверл для обработки деталей из авиационных материалов

Но- мер груп- пы	s, мм/об	Точение твердым сплавом							Фрезерование							Материал инструмента	Сверление				Подточка пере- мычки, мм
		s, мм/об	γ	α	f	B	R	R_1	t	γ	γ_1	f	α	φ	φ_1		2φ	$\gamma\varphi$	α	ω	
			град.		мм					град.		мм		град.			град.				
I, II, III	60—90	<0,3	15	6	0,1—0,2	3,5	6	0,5	8	8—10	—5	0,2	16	45—60	15	ТС	125	наширине 0,1—0,5 мм +10	8—12	33	0,08—0,1
		0,3—0,5	15	6	0,3—0,4	5,0	10	1,0	8	10—15	—	—	16	45—60	15	БС	125		8—12	33	0,08—0,1
		>0,5	20	8	0,5—1	8,0	12	1,5													
IV	70—100	<0,3	10	10	0,1—0,2	3,0	8	0,5—1,0	5	8—10	—5	0,2	16	45—60	15	ТС	125	+10	8—12	33	0,08—0,1
		0,3—0,5	12	10	0,3—0,4	4,0	10	1,0	5	10—15	—	—	16	45—60	15	ТС	125	+10	8—12	33	0,08—0,1
V	70—130	<0,3	5	12	0,1—0,2	2,0	10	0,5—1,0	4	5—8	—5	0,2	16	45—60	15	ТС	125—130	+5	12—14	33	0,1—0,12
VI	70—130	0,3—0,5	10	10	0,3—0,4	3,0	8	1,0	4	10—12	—	—	16	45—60	15	БС	125—130	+5	12—14	33	0,1—0,12
II	120	<0,3	—5	8—10	2—3	—	—	0,5	4	—5	0	1,5	16	45—60	15	ТС	130—135	+5	12—14	33	0,1—0,12
VII	60—140	<0,5	0÷—5	11	2—3	—	—	0,5	5	0÷—5	0	0,2	16	45—60	15	ТС	130—135	+5	12—14	33	0,08—0,1
VIII	140—200	≤0,3	—3÷—5	10	2—3	—	—	0,5	2—3	(—5) — (—10)	0	1,0	16	45—60	15	ТС	130—135	0	12—14	33	0,12—0,14
IXa	25—60	≤0,3	15—20	6—8	0,1—0,2	1,7	2,5	0,5	12	5—8	—	—	10—15	45—60	15	ТС	100—140	+10	8—10	10—30	0,12—0,14
		0,3—0,8			0,3—0,4	2,5	3,6	0,5	12	10—15	—	—	18—20	45—60	15	БС	100—140	+10	8—10	10—30	0,12—0,14
		>0,8			0,5—1,0	3,7	6	0,5													

Таблица VII.17

Режимы резания при вибросверлении

Обрабатываемый материал	Диаметр сверла d, мм	Скорость резания v, м/мин	Подача s, мм/мин	Подача s, мм/об	Амплитуда 2Аф*, мм	Частота колебаний i**, кол/об	Частота вращения n, об/мин
Титановые сплавы (BT3; BT5; BT9; BT20; BT22 и др.)	3	21	22	0,01	0,03	4,25	2200
	5	30—35	38—44	0,02	0,05	4,25	1900—2200
	8	35	42	0,03	0,08	4,25	1390
	12	40	42,5	0,04	0,10	4,25	1060
Жаропрочные сплавы: а) типа ЭИ437, ЭИ829, ЭИ827, ЭП99 и др	3	15—18	15—19	0,01	0,03	4,25	1590—1910
	5	18	34,4	0,03	0,08	4,25	1140
	8	20	32	0,04	0,12	4,25	800
	12	20	26,5	0,05	0,12	4,25	530
б) типа ЖС6-К, ЖС6-КП и др.	3	12—15	13—15	0,01	0,03	4,25	1275—1590
	5	18	22	0,02	0,06	4,25	1140
	8	18	28,5	0,04	0,12	4,25	720
	12	18	24	0,05	0,12	4,25	480
Жаропрочные и нержавеющие ста- ли типа ЭИ961, Х18Н9Т, 18ХНВА; Х17Н2, ЭИ268 и др.	3	21	22	0,01	0,03	4,25	2200
	5	30—35	38—44	0,02	0,06	4,25	1900—2200
	8	35	55	0,04	0,10	4,25	1390
	12	40	53	0,05	0,12	4,25	1060

* 2Аф — фактическая амплитуда колебаний инструмента.

** i — число колебаний инструмента на один оборот шпинделя.

Таблица VII.1.8

Номер группы	Сверление					Развертывание			
	σ , кгс/мм ²	$D_{св}$, мм	s , мм/об	v , м/мин для инструмента из		s , мм/об	t , мм	v , м/мин для инструмента из	
				ТС	БС			ТС	БС
I	60	2-10	0,02-0,1	—	30-54	0,1-0,5	0,05-0,15	70-120	10-20
		10-20	0,09-0,2	—	—	—	0,1-0,2	—	—
	90	2-10	0,02-0,1	—	20-36	0,1-0,5	0,1-0,2	50-100	5-12
II	60	10-20	0,09-0,2	21-40	18-34	0,1-0,5	0,1-0,2	30-65	10-20
		10-20	0,09-0,2	18-30	16-30	0,1-0,5	0,1-0,2	20-40	5-12
	110	10-20	0,09-0,2	15-28	13-24	0,1-0,5	0,1-0,2	15-30	5-10
	130	10-20	0,09-0,2	10-18	8-15	0,1-0,5	0,1-0,2	15-30	5-10
III	60	10-20	0,09-0,2	17-40	15-27	0,1-0,5	0,1-0,2	25-50	12-20
	90	10-20	0,09-0,2	14-25	12-22	0,1-0,5	0,1-0,2	20-40	7-15
	120	10-20	0,09-0,2	10-18	8-15	0,1-0,5	0,1-0,2	15-30	5-8
IVa	60	10-20	0,09-0,2	18-30	16-30	0,1-0,5	0,1-0,2	20-40	5-15
	90	10-20	0,01-0,10	15-28	12-22	0,1-0,5	0,1-0,2	15-30	2-8
	—	10-20	0,09-0,15	—	—	—	—	—	—
IVб	70	10-20	0,09-0,15	11-18	9-17	0,1-0,5	0,1-0,2	—	—
	100	10-20	0,09-0,15	8-15	6-12	0,1-0,5	0,1-0,2	—	—
V	80	1-10	0,09-0,15	9-16	7-14	0,1-0,5	0,1-0,2	15-30	2,5-10
	—	10-20	0,09-0,15	9-16	7-14				
	100	10-20	0,09-0,15	6-12	5-10				
	125	10-20	0,005-0,1	—	—				
VI	60-100	10-20	0,09-0,15	4,5-14	3-8	0,1-0,5	0,1-0,2	10-20	2-5
			—	—	—	—	—	—	—
VII	60	1-10	0,005-0,1	25-45	20-35	0,1-0,5	0,1-0,2	35-60	10-15
	—	10-20	0,09-0,15	25-45	20-35	0,1-0,5	0,1-0,2	35-60	10-15
	85	10-20	0,09-0,15	16-32	13-24	0,1-0,5	0,1-0,2	25-40	5-12
	100	10-20	0,09-0,15	13-26	10-18	0,1-0,5	0,1-0,2	25-40	5-12
	120	10-20	0,09-0,15	12-25	8-15	0,1-0,5	0,1-0,2	25-40	5-12
	130	10-20	0,09-0,15	10-18	7-13	0,1-0,5	0,1-0,2	25-40	5-12
VIII	125	10-20	0,09-0,15	15-28	12-22	0,1-0,5	0,1-0,2	40-80	7-12
	150	10-20	0,02-0,005	12-22	—	0,1-0,5	0,1-0,2	40-80	7-12
	—	—	0,005-0,12	—	—	—	—	—	—
	170	10-20	0,005-0,12	11-20	—	0,1-0,5	0,1-0,2	15-35	2-7
	180	10-20	0,005-0,12	9-18	—	0,1-0,5	0,1-0,2	15-35	2-7
	200	10-20	0,005-0,12	8-15	—	0,1-0,5	0,1-0,2	15-30	2-5
	210	10-20	0,005-0,12	7-13	—	0,1-0,5	0,1-0,2	15-30	2-5
IXa	До 60	1-5	0,1-0,2	До 300	До 100	—	—	—	—
		5-10	0,3-0,5	—	—	—	—	—	—
		10-20	0,4-0,8	—	—	—	—	—	—
IXб	До 35	10-20	0,4-0,8	До 600	До 200	—	—	—	—

геометрические параметры, град.:
 передний угол $\gamma=12\div 15$,
 задний угол $\alpha=3\div 4$.

Протягивание титановых сплавов

Режимы резания:
 подъем на зуб $s_z=0,04\div 0,08$ мм — для черного
 протягивания;
 подъем на зуб $s_z=0,02\div 0,03$ мм для чистового
 протягивания;

скорость резания $v=2\div 7$ м/мин;
 геометрические параметры, град.:
 передний угол $\gamma=5\div 8$,
 задний угол $\alpha=3\div 4$.

При протягивании твердосплавными протяжками
 подъемы на зуб для черновых (предварительных)
 протяжек могут быть увеличены по жаропрочным
 сталям и сплавам до 0,1 мм, по титановым сплавам
 до 0,3 мм.

Таблица VII.1.9

Таблица VII.1.10

Применение масляных смазочно-охлаждающих жидкостей

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Рекомендуемые СОЖ
Обработка на токарных автоматах	Конструкционные и нержавеющие стали, жаропрочные и титановые сплавы	МР-1, ТУ-38-101-247-75
Сверление, развертывание, зенкерование, нарезание резьбы	Высокопрочные, коррозионно-стойкие стали, жаропрочные и титановые сплавы	В-296, В-32к, В-35, ТУ-38-1-01-883-75
Глубокое сверление	Конструкционные стали, жаропрочные и титановые сплавы	МР-1, ТУ-38-101-247-75; ОСМ-3, ТУ-38УССР 2-01-152-75
Накатывание резьб	Титановые сплавы	В-32к, ТУ-38-1-01-883-75
Обработка на агрегатных станках. Нарезание и накатывание резьб	Алюминиевые сплавы Конструкционные, коррозионно-стойкие жаропрочные стали и сплавы	В-31, ТУ-38-1-01-893-75 ОСМ-3, ТУ-38УССР 2-01-152-75

Применение эмульсионных смазочно-охлаждающих жидкостей

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Рекомендуемые СОЖ
Точение, растачивание, фрезерование, сверление, развертывание, протягивание	Конструкционные, нержавеющие, инструментальные стали	5-8%-ная эмульсия, РЗ-СОЖ-8, ТУ-38-1012-58-74 8-10%-ная эмульсия, СДМУ-2, ТУ-38-1-258-67 5%-ная эмульсия, Укринол 1, ТУ-38-101-197-76
	Титановые и жаропрочные сплавы	5-8%-ная эмульсия, РЗ-СОЖ-8, 8-10%-ная эмульсия, СДМУ-2
	Конструкционные и инструментальные стали, алюминиевые сплавы	3-5%-ная эмульсия, НГЛ-205, ТУ-38-1-242-69. 3%-ная эмульсия, Укринол 1,

Шероховатость поверхности и классы точности в зависимости от видов обработки

Методы получения шероховатости поверхностей и предельно допустимая шероховатость обрабатываемой поверхности									Классы точности		
Вид обработки			Rz40 ▽	Rz20 ▽	2,5 ▽	1,25 ▽	0,63 ▽	0,32 ▽	0,16 ▽	эконо- мичные	дости- жимые
Точение	получистовое									5—7	
	чистовое									2—5	
	тонкое									2—3	До 1
Фрезеро- вание	цилиндрическое	черновое								5—7	
		чистовое								4—7	
	торцевое	черновое								5—7	
		чистовое								4—7	
Сверление										4—7	До 3
Зенкерование										3—7	До 3
Развертывание	предвари- тельное									3	
	оконча- тельное									2—3	2а
Протягивание	черновое									2—3	
	чистовое									2	До 1
Нарезание резьбы	наружное	резцом, гре- бенкой, фре- зой								1—2	
		накатывани- ем роликом								3	
	внутреннее	метчиком								2—3	
		резцом, гре- бенкой, фре- зой								2—3	

Глава 2. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ И ИНСТРУМЕНТУ ПРИ АБРАЗИВНО-АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКЕ

Прогресс в авиастроении повышает требования к надежности и долговечности летательных аппаратов. При этом усложняются конструкции деталей и расширяется применение труднообрабатываемых материалов. В этих условиях роль абразивного и алмазного инструмента в технологии авиастроения еще более возрастает, так как многие требования к поверхностям деталей практически невозможно выполнить без абразивной и алмазной обработки. При использовании алмазно-абразивного инструмента осуществляются следующие процессы финишной обработки: чистовая обработка, окончательная отделка и обработка свободным абразивом.

ПРОЦЕССЫ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ

Шлифование

Шлифование является основным методом чистовой обработки металлов и занимает весьма видное место в современном машиностроении. Этот процесс позволяет легко получить в условиях серий-

ного производства шероховатость до $\sqrt{0,63}$ и точность до 3 кл.

Алмазное шлифование

В настоящее время алмазное шлифование находит промышленное применение при обработке:

ответственных деталей машин (чистовая обработка), от которых требуется высокая точность размеров и формы, малая шероховатость поверхности и сохранение неизменной микроструктуры и физико-механического состояния поверхностного слоя металла;

фасонных профилей деталей, от которых требуется сохранение точности профиля;

точных отверстий малого диаметра; особо твердых и хрупких материалов (твердые сплавы, минералокерамика и др.);

некоторых жаропрочных и титановых сплавов; магнитомягких сплавов типа «пермаллой» и «альфекол».

При алмазном шлифовании отношение $\frac{a}{p}$ в 1,5—2 раза больше, чем при абразивном, поэтому процесс алмазного шлифования характеризуется преобладанием деформаций среза.

Эффективность алмазного шлифования и возможность достижения требуемой точности и класса шероховатости в значительной степени определяются жесткостью и виброустойчивостью станка и алмазного круга.

Скоростное шлифование

Скоростным шлифованием условно принято называть обработку деталей при скорости шлифовального круга $v_{кр} \geq 45$ м/с. Скоростное шлифование целесообразно внедрять при обработке деталей из любых материалов, но особенно из углеродистых и низколегированных сталей.

При выборе характеристики круга для скорост-

ного шлифования следует руководствоваться теми же правилами, что и для обычного шлифования, то есть сохранять ту же характеристику кругов или брать их на одну степень мягче.

Ленточное шлифование

В последние годы в машиностроении для обработки деталей, имеющих сложные криволинейные поверхности деталей, внутренние поверхности сложной формы или малых диаметров, поверхности больших размеров и другие специфические поверхности, все более широко применяют метод чистовой обработки бесконечными шлифовальными лентами. Этот процесс позволяет обрабатывать практически все конструкционные материалы, включая дерево, пластмассы, стекло и др. Точность размеров и формы, как правило, не превышает 3-го

класса. Шероховатость поверхности $\sqrt{2,5} - \sqrt{1,25}$.

Ленточное шлифование особенно выгодно применять при массовом и крупносерийном производстве, однако и при шлифовании единичных деталей оно находит применение.

При использовании алмазоносных лент с эластичными каучукодержащими связками, разработанными ИСМ АН УССР, можно получить шеро-

ватость поверхности $Rz \sqrt{0,32} - \sqrt{0,04}$.

При шлифовании лентой уменьшаются структурные изменения в поверхностных слоях обрабатываемой детали.

ПРОЦЕССЫ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОТДЕЛКИ

Отделочная обработка абразивным инструментом разделяется на процессы, обеспечивающие получение точности размеров и формы по 1-му классу и выше при одновременном достижении шероховатости поверхности выше 8-го класса (тонкое сверхчистовое шлифование, хонингование, притирка, доводка), и процессы, применяемые для улучшения внешнего вида и получения высокого класса шероховатости поверхности изделий (суперфиниширование, полирование и др.).

Тонкое сверхчистовое шлифование

Тонкое сверхчистовое шлифование (процесс отделочной обработки круглых наружных и внутренних поверхностей и плоскостей) позволяет полу-

чить шероховатость поверхности $\sqrt{0,32} - \sqrt{0,08}$ при применении обычных шлифовальных кругов, до $Rz \sqrt{0,1} - \sqrt{0,040}$ при применении кругов с графитовым наполните-

лем типа ГЕ.М28.М3Б и до $\sqrt{0,080} - \sqrt{0,040}$ кругами 63СМ40—М.10 на глифталевой связке. Точность геометрического размера не ниже 1-го класса.

Хонингование

Хонингование — процесс отделочной обработки, главным образом внутренних цилиндрических отверстий диаметром от 5 до 1000 мм, обеспечиваю-

0,040
щий шероховатость поверхности до $\sqrt{\quad}$ и точность до 1-го класса.

При применении специальных головок возможно хонингование наружных цилиндрических поверхностей, глухих цилиндрических отверстий и отверстий с прерывистой поверхностью, имеющей шпоночные или смазочные канавки.

Суперфиниширование

Суперфиниширование — процесс отделочной обработки разнообразных трущихся наружных цилиндрических, плоских, реже наружных конических, внутренних цилиндрических и фасонных поверхностей мелкозернистыми абразивными брусками, совершающими короткие и быстрые колебательные движения. Суперфиниширование погрешности геометрической формы не исправляет (шероховатость поверхности до $Rz \sqrt{\quad}$).

Полирование

Полирование — процесс отделочной обработки различных поверхностей изделий, обеспечивающий получение шероховатости поверхности, достигающей зеркального блеска. Форма и геометрические размеры при этом виде обработки имеют второстепенное значение.

Полирование получило распространение как декоративная и антикоррозионная обработка, а также для уменьшения трения и повышения усталостной прочности деталей машин.

ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

Доводка, притирка

Этот процесс отделочной обработки, обеспечивающий съем тончайшего припуска посредством мелкозернистых порошков в среде смазки, нанесенной на поверхность притира, имеющего форму, обратную форме обрабатываемой поверхности, обеспечивает точность размеров и формы по 1-му классу $0,16 \sqrt{\quad}$ и выше и шероховатость поверхности до $Rz \sqrt{\quad}$.

Струйно-абразивная обработка

Струйно-абразивная обработка — процесс финишной обработки различных поверхностей деталей, применяющийся в основном для уменьшения шероховатости поверхности при одновременном упрочнении поверхности, для снятия заусенцев и грата, зачистки швов после сварки и пайки, очистки отливок от пригоревшей формовочной и стержневой смеси и остатков пригара. Методами струйно-абразивной обработки можно подготовить листовую сталь под фосфатирование и удалить загрязнения (окалину, ржавчину, масло и др.) с проката, подготовить поверхность для улучшения сцепления наносимых на поверхность покрытий (металлических, краски, резины, клея эпоксидной смолы) и создать микроуглубления на поверхности деталей для удержания смазки. Получение матовой поверхности на деталях из металла, пластмасс,

стекла и других и декоративная отделка поверхностей с оттенками (атласным, ореховым, вороненым и т. д.), получение рисунков и надписей на любых материалах по шаблонам и трафаретам и восстановление режущих свойств инструмента (шлифовального круга, напильники) также возможны методами струйно-абразивной обработки.

По активному возбудителю и носителю абразивных зерен струйно-абразивные способы делятся на абразивно-жидкостный, абразивно-центробежный, абразивно-гравитационный, абразивно-электрический, комбинированный.

Процессы струйно-абразивной обработки применяются практически на всех конструкционных материалах и обеспечивают при достаточно высокой производительности получение высоких классов шероховатости обрабатываемой поверхности (табл. VII.2.1).

Таблица VII.2.1

Выбор зернистости абразива и числа переходов при абразивно-жидкостном полировании (конструкционная сталь)

Исходная шероховатость	Переходы					
	первый		второй		третий	
	зернистость	шероховатость	зернистость	шероховатость	зернистость	шероховатость
2,5 $\sqrt{\quad}$	10	2,5 $\sqrt{\quad}$	6	1,25 $\sqrt{\quad}$	3	0,32 $\sqrt{\quad}$
	6	0,63 $\sqrt{\quad}$	3	0,63 $\sqrt{\quad}$	—	—
1,25 $\sqrt{\quad}$	3	0,32—0,63 $\sqrt{\quad}$	M20	0,32 $\sqrt{\quad}$	—	—
0,32 $\sqrt{\quad}$	M14	0,32 $\sqrt{\quad}$	M10	0,080—0,040 $\sqrt{\quad}$	—	—
0,160 $\sqrt{\quad}$	M10	0,040 $\sqrt{\quad}$	—	—	—	—

Магнитно-абразивная обработка

Магнитно-абразивная обработка — процесс отделочной обработки, при котором энергия магнитного поля превращается в механическую работу резания непосредственно в зоне обработки без каких-либо промежуточных механизмов-преобразователей. В некоторых случаях этот процесс позволяет механизировать операции полирования деталей и повысить производительность этих операций. Точность определяется предыдущей операцией, хотя в некоторых случаях наблюдается уменьшение волнистости и огранки цилиндрических поверхностей. Шероховатость обработанной поверхности конструкционных и нержавеющей сталей может достигать $0,040 \sqrt{\quad}$ при исходной шероховатости порядка $1,25 \sqrt{\quad}$.

Магнитно-абразивное полирование вскрывает дефекты предшествующей обработки: трещины, появившиеся от прижогов при шлифовании; неравномерность шероховатости после предшествующей обработки и другие пороки, которые часто затуше-

Таблица VII.2.2

Показатели шероховатости и точности обработки
в условиях серийного производства

Вид обработки	Конструкционная сталь	Нержавеющая сталь	Титановые сплавы	Жаропрочные сплавы	Алюминиевые сплавы	Магневые сплавы
Коэффициент обрабатываемости	1	0,5	0,1	0,15		
Шлифование черновое:						
круглое	1,25 ✓		1,25 ✓			
плоское	1,25 ✓		1,25 ✓			
фасонное				2,5 ✓		
бесцентровое	1,25 ✓		2,5 ✓			
Шлифование чистовое:						
круглое	0,08 ✓		0,32 ✓	0,63 ✓		
плоское	0,08 ✓	0,32 ✓	0,32 ✓	0,63 ✓		
фасонное	0,08 ✓			1,25 ✓		
бесцентровое			0,32 ✓			
Алмазное шлифование:						
круглое			0,32 ✓			
плоское			2,5 ✓			
фасонное			1,25 ✓			
бесцентровое			✓			
Ленточное шлифование:						
круглое		0,63 ✓	1,25 ✓	1,25 ✓		
плоское	1,25 ✓	1,25 ✓	2,5 ✓	1,25 ✓		1,25 ✓
фасонное		1,25 ✓	2,5 ✓	2,5 ✓	2,5 ✓	
Шлифование алмазонасными лентами (эластичными):						
круглое	0,16 ✓	0,04 ✓	0,16 ✓		0,160 ✓	
плоское			0,16 ✓			
фасонное			0,32 ✓			
Хонингование	0,08 ✓	0,16 ✓			0,08 ✓	
Суперфиниширование			0,08 ✓			
Шлифование лепестковыми кругами	0,32 ✓	0,32 ✓	0,63 ✓	0,63 ✓	0,32 ✓	0,63 ✓
Магнитно-абразивная обработка	0,04 ✓	0,04 ✓				
Шлифование войлочными накатными кругами						1,25 ✓
Шлифование поропластовыми кругами	0,32 ✓	0,32 ✓	0,32 ✓	0,32 ✓	0,32 ✓	0,32 ✓

выявляются общим фоном неровностей предшествующей обработки и до полирования не заметны.

В последнее время для операции безразмерного полирования и зачистки заусенцев начали применяться процессы обработки в уплотненном слое свободного абразива и в «псевдокипящем» слое абразива. Сущность обработки в уплотненном слое свободного абразива заключается в том, что абразивную суспензию помещают в цилиндр, при вращении которого абразивные частицы под действием центробежных сил отбрасываются к периферии и образуют уплотненный слой. В этом слое со скоростью 3—30 м/с перемещают подлежащие обработке поверхности.

Сущность обработки в «псевдокипящем» слое абразива («турбоабразивной обработки») заключается в том, что пропуская через отверстия в дне контейнера с абразивными частицами сжатый воздух, создают объем со взвешенными в воздухе частицами, в котором со скоростью 3—30 м/с перемещают подлежащие обработке поверхности.

Выбор и технологические условия эксплуатации абразивного инструмента

Рекомендации по выбору и технологическим условиям эксплуатации абразивно-алмазного инструмента даются по литературным источникам и результатам работ.

Операции абразивной обработки являются, как правило, завершающими в процессе производства деталей машиностроения. Они определяют точность, качество, рабочую стойкость трущихся деталей и в целом долговечность работы оборудования. Брак на шлифовальных операциях особенно недопустим, так как это означает потерю всех производственных затрат на предыдущих операциях. Поэтому вопросам назначения требований к качеству поверхностного слоя, определяющих выбор и технологические условия эксплуатации абразивного инструмента, должно уделяться особое внимание. Показатели качества поверхностного слоя при алмазно-абразивной обработке в условиях серийного производства приведены в табл. VII.2.2.

Рекомендуемые характеристики кругов для шлифования титановых и жаропрочных сплавов в зависимости от вида и метода шлифования даны в табл. VII.2.3 и VII.2.4.

Примеры достижимых в условиях серийного производства показателей точности и шероховатости поверхности для типовых деталей приведены в табл. VII.2.5.

Методами абразивно-алмазной обработки в условиях серийного производства затруднительно получить радиусы галтелей менее 1 мм и узкие канавки с точностью по 2-му классу, особенно на азотированных и цементированных поверхностях.

Затруднения в серийном производстве могут возникнуть при использовании методов абразивно-алмазной обработки для финишных операций деталей из новых конструкционных материалов. Более высокие физико-механические свойства новых конструкционных материалов часто достигаются в ущерб обрабатываемости (см. табл. VII.2.2).

Между обрабатываемостью и теплопроводностью существует зависимость: чем ниже коэффициент

Таблица VII.2.3

Продолжение табл. VII.2.3

Рекомендуемые характеристики кругов для чистового шлифования некоторых конструкционных материалов

Обрабатываемый материал	Вид шлифования	Характеристика круга			
		абразивный материал	зернистость	твердость	связка
Титановые сплавы	Круглое наружное	63С	40—16	СМ1—СМ2	К
	Круглое внутреннее	63С	40—16	СМ1—С1	К
	Плоское	63С	40—16	СМ1—СМ2	К
	Бесцентровое	63С	40—16	СМ1—СМ2	К
Алюминиевые сплавы	Плоское и профильное и периферией круга	54С	50—32	СМ1—СМ2	К
	Плоское торцом круга	54С	80—50	СМ1—СМ2	Б

Обрабатываемый материал	Вид шлифования	Характеристика круга			
		абразивный материал	зернистость	твердость	связка
Конструкционная сталь	Плоское и профильное и периферией круга	23А	25—20	СМ2—С1	К
	Плоское торцом круга	23А	80—50	СМ1—СМ2	К
Легированная сталь	Плоское и профильное и периферией круга	15А 23А	40—20	СМ1—С2	К, Б
	Плоское торцом круга	15А 23А	50—20	М3—СМ2	Б

теплопроводности, тем хуже обрабатываемость. Теплопроводности аустенитных сталей хуже мартенситных. Теплопроводности титановых и жаропрочных сплавов ниже теплопроводности сталей.

Обрабатываемость конструкционных сталей, легированных сталей, жаропрочных и титановых сплавов относится соответственно 1 : 0,5 : 0,2 : 0,1.

Таблица VII.2.4

Рекомендуемые характеристики кругов на керамической связке (структура 5—8) для шлифования титановых сплавов

Скорость круга, м/с	Абразив- ный материал	Вид шлифования	Метод шлифования и получаемая шероховатость обработанной поверхности							
			На проход или врезанием		В упор с галтелью				Торцы врезанием	
					R=1 мм		R=0,5 — 1 мм			
			1,25 0,63 √ — √	1,25 0,63 √ — √	1,25 0,63 √ — √	1,25 0,63 √ — √	2,5 1,25 √ — √			
			Характеристика круга							
зерни- стость	связка	зерни- стость	связка	зерни- стость	связка	зерни- стость	связка			
30—35	63С	Круглое Наружное	СМ1—СМ2	25—16	СМ2—С1	25—16; 16—12	С1—С2	25—16	СМ2—С1	
		Круглое Внутреннее	СМ1—С1		СМ2—С2		С1—С2		СМ2—С1	
		Плоское Бесцентровое	СМ1—СМ2		СМ2—С1		С1—С2 С2—С1		СМ1—С1	
10—15	24А	Круглое Наружное	СМ2—С1	25—16	СМ2—С2	16—12	С1—С2	25—16	СМ2—С2	
		Круглое Внутреннее			С1—С2		С1—С1			
		Плоское Бесцентровое			СМ2—С2 С1—С2		С1—С2 С2—С1			

Примечания:

1. Круги с меньшими номерами зернистости применять для шлифования поверхностей с повышенными требованиями к чистоте и точности обработки.



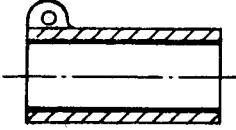
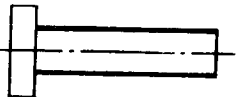
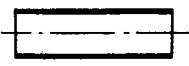
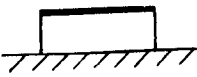
2. Характеристика ведущего круга при бесцентровом шлифовании 14А (16—12) (СТ1—СТ2) В.

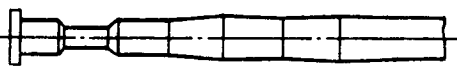


3. Для получения поверхностей с шероховатостью $\sqrt{0,63}$ и выше:

- применять круги зернистостью 16;
- работать на качественных станках с минимальными зазорами в подшипниках шпинделя шлифкруга, шпинделя обрабатываемой детали и в других подвижных частях;
- дважды балансировать круг после постановки на планшайбу и после предварительной правки;
- иметь чистые и точные поверхности центров и центровых отверстий;
- делать дополнительное выхаживание.

Таблица VII.25

Примеры достижимых в условиях серийного производства показателей точности и шероховатости поверхности на типовых деталях

Эскиз детали и обрабатываемые поверхности	Материал	Шероховатость	Точность	Оборудование	Инструмент
Нагревательные элементы 	12X18H10T	—	Геометрия в пределах 0,1 мм	Модернизированный плоскошлифовальный станок 3Б71М	АСР80/63Р9, АСО80/63, АСМ40/28Р4, АСМ14/10Р1, АСР80/63Р1
Детали типа плунжеров, штоков 	Конструкционные стали	0,16 √	Без исправления геометрии	Токарный станок с приспособлением для шлифования лентой	Эластичные алмазные ленты типа АСО80/63Р1-100; АСМ14/10Р1-100
	Высокопрочные стали	0,32 √ 0,04 √			
	Титановые сплавы	0,16 √ 0,04 √			
	Алюминиевые сплавы	0,63 √			
	Покрытие хромом	0,16 √			
Детали типа цилиндров 	Легированные стали	0,63—0,32 √ √	2-й кл.	Станок хонинговальный типа 3А833	Алмазные бруски типа АСР125/100-М1-100; АСМ28/14-М1-100;
	Алюминиевые сплавы	0,32—0,08 √ √	2-й кл.		АСМ14/10
	Жаропрочные сплавы	0,63 √	2-й кл.		АСР125/100-М1-100
Детали типа прутков, заготовок болтов 	Титановые сплавы	0,63—0,32 √ √	2-й кл.	Бесцентровочно-шлифовальные станки типа 3184, 3М182	Абразивные круги типа 24А16СМ1К5167; алмазные круги типа АСК125/100-М016-100
Детали типа плунжеров и штоков 	Титановые сплавы	0,08—0,04 √ √	Без исправления геометрии	Круглошлифовальный станок типа 3130 с приспособлением для суперфиниша	Алмазные бруски, эластичные алмазные ленты типа АСМ14/10-Р1-100
Плоские поверхности различных деталей 	Титановые сплавы	0,32 √	Без исправления геометрии	Без исправления геометрии	Эластичные алмазные ленты типа АСМ14-10Р1-100

Эскиз детали и обрабатываемые поверхности	Материал	Шероховатость	Точность	Оборудование	Инструмент
<p>Длиномерные трубы переменного сечения</p>  <p>Обработка наружной поверхности: — обдирочное шлифование; — чистовое шлифование; — полирование Обработка внутренней поверхности: — черновое шлифование; — чистовое шлифование; — полирование</p>	40ХНМА (30ХГСА, 18ХНВА, 1Х18Н9Т, 30ХГСА)		<p>1,25 √</p> <p>1,25 √</p>	<p>Станки типа СШЛН-2</p> <p>Станки типа СШЛВ-1а</p>	<p>Шлифовальные ленты из шкурки по ГОСТ 13344—79</p> <p>24А40 24А25 (40) 24А25 (8) 24А50 (40) 24А50 (40) 24А25</p>
<p>Деталь типа корпуса роторного двигателя</p> 	Покрытие из «никосиля»	<p>0,32 √</p> <p>0,16 √</p>	2-й кл.	Специальный внутришлифовальный станок	Алмазные круги типа АСК80/63
<p>Листы, профили</p> 	Композиционные материалы	Rz40 — Rz20 √ √	3-й кл.	Сверлильный станок типа 2Н150	Алмазные сверла

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормативы режимов резания на точение, фрезерование, сверление, зенкерование и развертывание деталей из нержавеющей, жаропрочных и титановых материалов. НИАТ, 1965, 1977.
2. Нормативы режимов резания на механическую обработку высокопрочных, жаропрочных и титановых материалов. НИАТ, 1973, 1974, 1976.
3. Нормативы режимов резания на механическую обработку цветных сплавов. НИАТ, 1973.
4. Вопросы технологических режимов резания. Труды НИАТ № 256, 1968.
5. Выбор режимов резания с учетом технологических условий обработки. Труды НИАТ № 281, 1969.
6. Выбор и применение быстрорежущих сталей с пониженным содержанием вольфрама при обработке резанием труднообрабатываемых материалов. ТР-1295—75.
7. Механическая обработка алюминиевых сплавов. Труды НИАТ № 260, 1968.
8. Бездеформационная механическая обработка алюминиевых сплавов. Труды НИАТ № 254, 1968.
9. Обработка алмазным инструментом. РТМ-1047—63.
10. Применение инструмента из эльбора в промышленности, РТМ-МС и ИП-196—74.
11. Тонкое точение титановых сплавов резами, оснащенными поликристаллом синтетического алмаза АСПК «Карбонадо», ТР-795—74.
12. Сверла спиральные для обработки труднообрабатываемых материалов. ГОСТ 20694—75, 20698—75.
13. Вибросверление глубоких отверстий в труднообрабатываемых материалах. ТР-310—70.
14. ОСТ 1.52048—75÷ОСТ 1.52059—75. Метчики для авиационных материалов.
15. ОСТ 1.52060—75÷ОСТ 1.52069—75. Метчики для легких сплавов.
16. ОСТ 1.52084—75÷ОСТ 1.52096—75. Резьбонакатные ролики.
17. ОСТ 1.51727—73. Протяжки профильные. Параметры геометрические основные. НИАТ, 1976.
18. ОСТ 1.51421—72. Протяжки профильные. Подъем на зуб. НИАТ, 1976.
19. ОСТ 1.52185—76÷ОСТ 1.52188—76. Протяжки для донышка елочного паз (сборник стандартов). НИАТ, 1976.
20. ПИ-209—74. Механическая обработка титановых сплавов. НИАТ, 1976.
21. Скоростное зенкерование и развертывание отверстий в закаленных сталях. РТМ-794—56.
22. Обработка точных отверстий в пакетах, состоящих из разнородных материалов. ТР-978—74.
23. Развертки ручные цилиндрические. ГОСТ 7722—70.
24. ОСТ 1.51335—72÷ОСТ 1.51337—72. Развертки машинные с коническим хвостовиком.
25. Алмазная заточка и доводка режущего инструмента. РТМ-1204—69.
26. Высокоэффективные смазочно-охлаждающие жидкости для механической обработки авиационных материалов. ТР-1137—75.
27. Ипполитов Г. М. Абразивно-алмазная обработка. М., «Машиностроение», 1969.
28. Маталин А. А. Новые направления развития технологии чистовой обработки. Киев, «Наукова Думка», 1972.
29. Левин В. И. Краткий справочник шлифовщика. М., «Машиностроение», 1968.
30. Вережуб В. Н. Шлифование абразивными лентами. М., «Машиностроение», 1972.
31. Пичко А. С. Струйно-абразивная обработка. М., НИИМАШ, 1968.
32. Барон Ю. М. Технология абразивной обработки в магнитном поле. 1975.
33. Лигский Ю. Д. Памятка по обработке жаропрочных и титановых сплавов. ЭТЦ—БТИ, Рыбинск, 1969.

В настоящее время накоплен обширный теоретический и экспериментальный материал, подтверждающий, что долговечность изделий зависит не только от рациональной конструкции и качества материала, но и в значительной степени от технологических процессов, обуславливающих качество поверхностного слоя деталей.

Одним из технологических путей повышения долговечности современных изделий является поверхностное упрочнение деталей пластическим деформированием.

Настоящие рекомендации содержат описание современных методов упрочнения и новое высокопроизводительное оборудование, в том числе с программным управлением, которые позволяют упрочнять детали длиной до 35 м. Рекомендации дополнены данными о применении высокоамплитудных, низкочастотных стендов при вибрационном упрочнении, об упрочнении отверстий в смешанных пакетах, галтелей, канавок болтов и осей на специализированном оборудовании, и сведениями по применению ударно-барабанного метода упрочнения.

Глава 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ВЫБОР МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Поверхностное упрочнение применяется для деталей и узлов самолетов из сталей, алюминиевых и титановых сплавов в целях повышения их ресурса и надежности.

Необходимость упрочнения устанавливается ОКБ, указания вносятся в чертежи деталей и узлов согласно инструкции 2—74 [20]. Рядом предприятий отрасли разработаны методы упрочнения и оборудование, что позволяет использовать прогрессивный технологический процесс при изготовлении большинства ответственных деталей авиационной техники.

Поверхностное упрочнение за счет создания стабильных остаточных напряжений сжатия, наклепа, благоприятного микропрофиля поверхности повышает выносливость деталей по сравнению с механической обработкой в 2—4 раза и более.

Поверхностное упрочнение частично или полностью снимает влияние на циклическую прочность деталей конструктивных концентраторов напряжений, покрытий, коррозионных сред (табл. VIII.1.1—VIII.1.3) [1, 2]. Чем выше исходная шероховатость поверхности, тем эффективнее процесс упрочнения. Упрочнение алюминиевых сплавов и сталей с исходной шероховатостью поверхности ∇ — ∇ повышает предел усталости на 30—40%, с исходной шероховатостью ∇ — ∇ — на 15—17%.

Отсюда следует вывод, что поверхностное упрочнение может частично заменить процесс ручного шлифования крупногабаритных деталей из сталей и алюминиевых сплавов после их точения и фрезерования.

Таблица VIII.1.1
Циклическая прочность деталей из стали 30ХГСА

Методы обработки	Предел усталости σ_1 , МПа (база 10^7 циклов)	Статическая выносливость	
		число циклов N	$\sigma_{\text{макс}}$, МПа
Шлифование	620		
Шлифование+упрочнение	710		
Шлифование (испытание в коррозионной среде)	90		
Шлифование+ЛКП* (испытание в коррозионной среде)	130		
Шлифование+упрочнение+ЛКП (испытание в коррозионной среде)	500		
Штамповка (образец гладкий)		11 000	1000
Штамповка+упрочнение (образец гладкий)		31 000	1000
Шлифование (образец гладкий)		6700	1360
Шлифование+упрочнение (образец гладкий)		До 40 000	1360
Шлифование, концентратор напряжения $\alpha_k=1,6$		2600	1360
Шлифование+упрочнение, концентратор напряжения $\alpha_k=1,6$		4000	1360
Шлифование+хромирование (образец гладкий)		2700	1360
Шлифование+упрочнение+хромирование (образец гладкий)		4600	1360

* ЛКП — лакокрасочное покрытие.

Таблица VIII.1.2

Циклическая прочность деталей из алюминиевых сплавов

Метод обработки поверхности	Число циклов до разрушения при $\sigma_{\text{макс}} = 350$ МПа (образцы гладкие)		
	B93	B95	D16
Фрезерование $Rz \sqrt[40]{-} \sqrt[20]{-}$	17 800	18 100	21 200
Фрезерование $Rz \sqrt[20]{+}$ + сернисто-кислотное анодирование	7500	9600	17 200
Фрезерование $\sqrt[2,5]{-} \sqrt[1,25]{-}$ + вибронаклеп	81 500	75 500	32 500
Фрезерование $Rz \sqrt[20]{+}$ + вибронаклеп + сернистокислотное анодирование	38 700	37 000	29 000

Таблица VIII.1.3

Влияние вибрационного упрочнения на коррозию под напряжением алюминиевых сплавов

Сплав, полуфабрикат	Направление вырезки образцов	Время до разрушения образцов в сутках	
		при фрезеровании $\sqrt[40]{-} \sqrt[20]{-}$ $Rz \sqrt[40]{-} \sqrt[20]{-}$	при фрезеровании $\sqrt[40]{-} \sqrt[20]{-}$ $Rz \sqrt[40]{-} \sqrt[20]{-}$ + вибрационное упрочнение
D16, панель	По ширине	20—90	48—120
B93, поковка	По высоте	31—86	>170

Процесс упрочнения позволяет уменьшить шероховатость поверхности на 1—3 класса.

Классификация деталей по классам, элементам и методы их упрочнения представлены в табл. VIII.1.4 и VIII.1.5. Рекомендуются следующие методы упрочнения самолетных деталей:

- вибрационный;
- пневмодинамический;
- дробеструйный;
- ударно-барабанный;
- обкатывание;
- раскатывание;
- алмазное выглаживание.

Таблица VIII.1.4

Рекомендуемые методы упрочнения деталей

Упрочняемые детали		Методы упрочнения	
класс	характеристика	освоенный	перспективный
Панели	С угольными стрингерами	Ударно-барабанный (алюминиевые сплавы), габаритные размеры до $11 \times 1,5$ м	Дробеструйный, ударно-барабанный, габаритные размеры свыше $11 \times 1,5$ м.

Продолжение табл. VIII.1.4

Упрочняемые детали		Методы упрочнения	
класс	характеристика	освоенный	перспективный
Панели	С тавровыми стрингерами, вафельные	Виброшлифование*, габаритные размеры до $3,5 \times 0,8$ м	Ударно-барабанный, габаритные размеры свыше $11 \times 1,5$ м
Обшивки**	Переменного сечения, без ребер		Дробеструйный, ударно-барабанный, габаритные размеры свыше $11 \times 1,5$ м
Стрингеры пояса, профили	Постоянного сечения		Пневмодинамический, ударно-барабанный, длина свыше 11 м
	Переменного сечения		Ударно-барабанный, длина свыше 11 м
Лонжероны, нервюры, балки, шпангоуты, монорейсы, профили развеса	С продольными, поперечными, наклонными и криволинейными ребрами	Ударно-барабанный (алюминиевые сплавы), длина до 11 м. Виброупрочнение, длина до 6 м. Виброшлифование*, длина до 3,5 м	Ударно-барабанный, длина свыше 11 м
Цилиндры, штоки, корпуса	Ближкие по форме к телу вращения	Пневмодинамический, длина до 2,5 м. Виброупрочнение, длина до 3,5 м	
Цилиндры, штоки, корпуса	То же	Пневмодинамический, длина до 2,5 м. Виброупрочнение, длина до 3,5 м	

- * Зачистка с сопутствующим упрочнением.
** Не плакированные.

Таблица VIII.1.5

Методы упрочнения элементов деталей

Элементы деталей	Методы упрочнения		Примечание
	освоенные	перспективные	
Поверхности вращения цилиндрические, конические, фасонные	Обкатывание и раскатывание роликами и шариками. Алмазное выравнивание. Виброупрочнение	—	—
Резьбы, галтели, канавки	Обкатывание и раскатывание роликами	Дробеструйный (микрошариками)	—
Отверстия: цилиндрические конические	Раскатывание раскатниками, дорнование	Глубокое деформирование кромок	Деталь не вращается
	Раскатывание раскатниками	То же	—
Внутренние полости	Виброупрочнение, виброшлифование*	Ударно-барабанный	Барабаном является обрабатываемая деталь
Элементы, не обработанные при общем упрочнении, или со снятым упрочненным слоем	Дробеструйный, пневмодинамический, пескоструйный (титановые сплавы и стали)	—	—

* Зачистка с сопутствующим упрочнением.

Сравнение методов упрочнения между собой по эффективности приведено в табл. VIII.1.6—VIII.1.11.

Таблица VIII.1.6

Влияние различных методов упрочнения на число циклов до разрушения образцов с круговым надрезом ($\alpha_k=1,5$) из сплава В93 (пульсирующее растяжение $\sigma_{\max}=250$ МПа)

Вид обработки по поверхности в надрезе	Число циклов до разрушения круглых образцов	
	не анодированных	анодированных
Точение ∇ 2,5	20 700	8200
Точение ∇ + вибронаклеп 2,5	41 900	21 800
Точение ∇ + пневмодинамический наклеп 2,5	11 600	32 000

Таблица VIII.1.7

Влияние различных методов упрочнения на малоцикловую усталость круглых образцов из стали 30ХГСНА ($\sigma_{\max}=1060$ МПа)

Вид обработки	Число циклов до разрушения
Шлифование	6000
Виброшлифование	19 000
Вибронаклеп	21 000
Пневмодинамический наклеп	35 000
Обкатывание роликом	42 000

Таблица VIII.1.8

Влияние алмазного выравнивания на малоцикловую усталость стейл 30ХГСНА ($\sigma_b=1650$ МПа), ВНС-5 ($\sigma_b=1500$ МПа) при повторном растяжении

Вид обработки	Число циклов до разрушения				
	30ХГСНА			ВНС-5	
	при σ_{\max} , МПа				
	1000	1170	1360	1000	1170
Шлифование 0,63 ∇	51 300	15 000	4250	20 800	9840
Шлифование 0,63 ∇ + алмаз- ное выглажи- 0,16 0,08 вание ∇ — ∇	—	121 500	12 400	154 400	261 800
Шлифование 0,63 ∇ + полиро- 0,32 вание ∇ + хромирование	3510	—	—	—	—
Шлифование 0,63 ∇ + алмаз- ное выглажи- 0,16 вание ∇ + +хромирова- ние	142 900	—	—	—	—

Таблица VIII.1.9

Влияние ударно-барабанного метода упрочнения на усталость образцов

Нагружение	Марка материала	Форма и размеры образцов, мм	Напряжение σ_{\max} , МПа	Число циклов до разрушения, тыс.	
				без упрочнения	с упрочнением
Малоцикловое пульсирующее растяжение, частота 8—10 циклов/мин	Д16ч.-Т АК4-1-Т1 В95-Т1 В95п.ч.-Т2 АК6-Т1	Плоские 6×25 2×15 2×15 2×15 2×15	300	23,9	90,6
			300	20,2	69,2
			350	9,8	45,6
			300	24,6	70,8
			240	49,3	105,5

Продолжение табл. VIII.1.9

Нагружение	Марка материала	Форма и размеры образцов, мм	Напряжение σ_{max} , МПа	Число циклов до разрушения, тыс.	
				без упрочнения	с упрочнением
Малоцикловое пульсирующее растяжение, частота 8—10 цикл/мин	B93 п.ч.-Т1 AK4-1-T1	Моделированные крестообразные с поперечным ребром (ребро 3, R=4)	240 240	11,6 20,7	55,0 72,0
Малоцикловый двухосный знакопеременный изгиб, частота 15 цикл/мин	B95-T1	Диски $\varnothing 150$, толщина 2	400	30,3	124,8
Малоцикловый изгиб в коррозионной среде (3% NaCl), частота 6—10 цикл/мин	B95-T1	Плоские 2×30	300	3,2	25,0
Акустический изгиб, частота 260 Гц	AK4-1-T1	Моделированные, швеллер 25×80 (ребро 3, R=3)	115	2100	81700

Таблица VIII.1.10

Влияние обкатывания роликом на выносливость образцов с надрезом из сталей ЭИ643, 30ХГСНА, ВНС-2 при испытании в различных коррозионных средах (база испытаний $N=10^7$ циклов)

Метод изготовления надреза	Среда	Предел выносливости σ_{-1} , МПа		
		ЭИ643	30ХГСНА	ВНС-2
		$r_n=1$ мм $\alpha_k=1,7$	$r_n=1$ мм $\alpha_k=1,7$	$r_n=0,25$ мм $\alpha_k=3,2$
Резцом	Воздух	500	450	150
	Водопроводная вода	80	60	—
	3%-ный раствор NaCl	—	—	100
Резцом+обкатывание роликом	Воздух	700	650	470
	Водопроводная вода	700	650	—
	3%-ный раствор NaCl	—	—	350

Таблица VIII.1.11

Влияние поверхностного упрочнения на выносливость образцов из сталей 30ХГСНА и ЭИ643 (испытание при консольном изгибе на воздухе и в коррозионной среде, база испытаний $N=10^7$ циклов)

Обработка поверхности	Предел выносливости σ_{-1} , МПа			
	30ХГСНА		ЭИ643	
	Воздух	Водопроводная вода	Воздух	Водопроводная вода
Шлифование	620	80	700	120
Виброшлифование	710	200	780	250
Наклеп дробью	700	700	830	700
Обдувка металлическим песком	670	400	730	400
Вибронаклеп	700	650	850	—
Обкатывание роликом	800	750	780	730
Алмазное выравнивание	780	760	—	—

ВИБРАЦИОННЫЙ МЕТОД

Вибрационный метод упрочнения [1, 2, 3, 5] основан на использовании колебаний не связанных друг с другом частиц упрочняющего тела (стальных шариков или абразивных гранул) и обрабатываемых деталей. Упрочняющее тело и деталь помещают в контейнер, находящийся в состоянии вибрации.

В зависимости от состава рабочих сред при вибрационной обработке могут выполняться следующие основные операции: виброшлифование, виброполирование, виброупрочнение (вибронаклеп), а также виброшлифование и виброупрочнение.

При выполнении операции виброшлифования на деталях можно производить снятие заусенцев, зачистку облоя, скругление острых кромок, очистку поверхностей от нагара, окисной пленки, следов коррозии и т. д., а также упрочнение поверхностного слоя и создание в нем остаточных напряжений сжатия.

Операции виброшлифования и виброполирования выполняются рабочими средами, состоящими из абразива, дробы, стальных и твердосплавных шариков в смеси с абразивными пастами и растворителем. Операции виброупрочнения производятся, как правило, стальными полированными шариками.

Установки для вибрационной обработки предусматривают движение как в одной, так и в нескольких плоскостях. В зависимости от габаритных размеров упрочняемых деталей, их геометрической формы и вида обработки загрузка в установку производится внавал, с закреплением и принудительным вращением.

Принципиальная схема установки для вибрационной обработки показана на рис. VIII.1.1. Особенность вибрационного метода упрочнения заключается в том, что движущиеся частицы упрочняющего тела, не имея жесткой связи между собой, легко контактируют со всей поверхностью обрабатываемой детали, что обеспечивает относи-

тельную равномерность обработки и возможность упрочнения деталей сложной формы. Объемный характер вибрации позволяет обрабатывать труднодоступные места деталей сложных замкнутых форм.

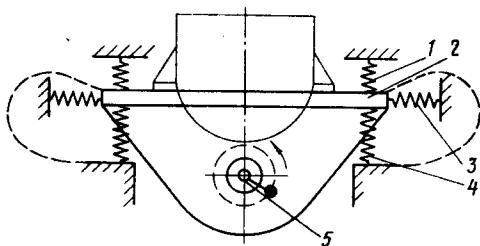


Рис. VIII.1.1. Принципиальная схема виброустановки:

1, 3, 4 — системы подвески амортизации; 2 — подвижная рама; 5 — вибратор.

Основными параметрами вибрационного метода упрочнения являются:

- материал и диаметр шариков, материал, зернистость и форма абразивного наполнителя;
- амплитуда и частота колебаний, определяющие скорость и ускорение вибрирующих частиц;
- продолжительность процесса упрочнения;
- траектория частиц упрочняющего тела и изменение углового положения плоскости их движения во времени (зависит от типа виброустановки).

ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД УПРОЧНЕНИЯ

Пневмодинамический метод упрочнения [1, 2, 3, 4, 26] основан на использовании кинетической энергии стальных шариков, сообщаемой струей воздуха, которая подается в рабочую камеру под давлением 3—6 атм.

Особенности метода заключаются в том, что благодаря малому закрытому объему рабочей камеры осуществляется многократное соударение шариков с поверхностью обрабатываемой детали, поэтому для осуществления процесса упрочнения необходимо небольшое количество стальных шариков (до 10—12 кг). Метод не требует сложного и тяжелого оборудования, специальных фундаментов.

В зависимости от конструктивно-технологических особенностей деталей обработка их производится с использованием следующих технологических приемов:

- вращения детали в рабочей зоне камеры (для тел вращения типа валов, цилиндров, лопастей и др.);
- перемещения рабочей камеры по детали или перемещения детали относительно неподвижной камеры.

Основными параметрами пневмодинамического метода упрочнения являются:

- давление воздуха;
- материал и диаметр шариков;
- расстояние щели сопла от поверхности;

- длина рабочей зоны камеры;
- удельная загрузка шариков (отношение массы шариков к проекции рабочей зоны камеры);
- время обработки (время пребывания обрабатываемой поверхности в рабочей зоне).

ДРОБЕСТРУЙНЫЙ МЕТОД

Процесс упрочнения основан на использовании кинетической энергии обрабатывающих сред, которые могут подаваться на обрабатываемую поверхность с помощью сжатого воздуха, жидкости под давлением, вращающихся лопаток дробеструйных аппаратов.

Дробеструйный метод применяется для обработки деталей сложной формы и местного упрочнения.

В качестве обрабатывающей среды применяется стальная литая дробь ДСЛ диаметром 0,8+1,2 мм, ГОСТ 11964—66, стальные шарики из ШХ-15 диаметром 0,8+3,0 мм ГОСТ 3722—60, стальные микрошарики диаметром 50—500 мкм. Перспективным является упрочнение микрошариками. Упрочнение микрошариками позволяет обрабатывать радиусы переходов, пазы, проточки, мелкие резьбы и т. д. Упрочнение микрошариками обеспечивает по сравнению с упрочнением дробью и шариками более низкую шероховатость обрабатываемой поверхности.

Основными параметрами дробеструйного метода являются: рабочая среда; расстояние сопла от обрабатываемой поверхности; угол, под которым струя дробы направляется на деталь; давление воздуха; продолжительность процесса.

УДАРНО-БАРАБАНЫЙ МЕТОД УПРОЧНЕНИЯ

Применяется для упрочнения деталей из алюминиевых сплавов типа панелей, обшивок, лонжеронов, поясов, нервюр, стрингеров, шпангоутов с гладкими и ребристыми поверхностями [7, 8].

Осваивается ударно-барабанный метод упрочнения деталей из сталей и титановых сплавов. Эффективность упрочнения этих материалов больше, чем алюминиевых сплавов. Ударно-барабанный метод может применяться также для крупногабаритных корпусных деталей, располагаемых в центральной части многогранного или цилиндрического барабана, и для крупногабаритных внутренних полостей, когда обрабатываемая деталь сама является барабаном.

Ударно-барабанное упрочнение производится путем соударения гранул сыпучего рабочего тела с поверхностями обрабатываемых деталей, закрепленных внутри стенок барабана, вращающегося вокруг горизонтальной или наклонной оси. Барабан имеет форму прямоугольного параллелепипеда (ящичная схема). Полость барабана разделена центральной перегородкой на две рабочие камеры. Принципиальная схема установки УБП-3-7 приведена на рис. VIII.1.2. Обрабатываемые детали закрепляются на съемных щитах, закрывающих проемы рабочих камер, и на центральной перегородке. При вращении барабана гранулы сы-

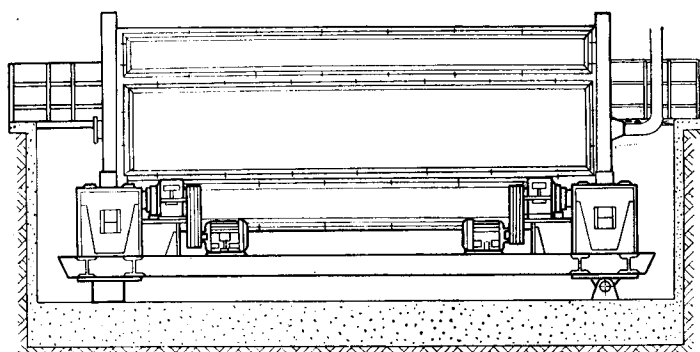


Рис. VIII.1.2. Принципиальная схема установки УБП-3-7*.

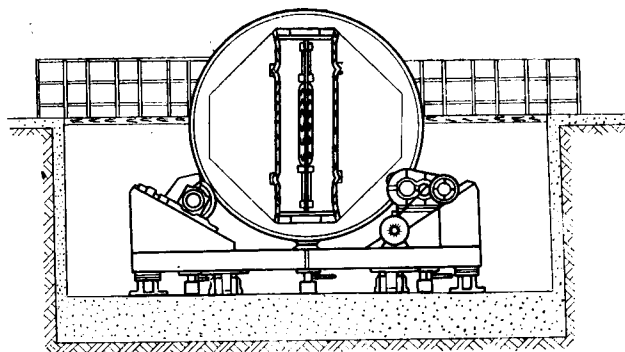
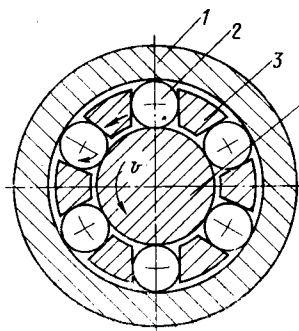


Рис. VIII.1.3. Принципиальная схема раскатывания:

1 — упрочняемая деталь; 2 — ролик; 3 — сепаратор; 4 — опорный корпус.



пучего рабочего тела падают на поверхности обрабатываемых деталей. При соударении поверхностный слой деталей пластически деформируется, в результате чего происходит упрочнение. Обе поверхности деталей упрочняются поочередно. В качестве сыпучего рабочего тела применяются кубики с размером стороны 2—5 мм из сплава В95-Т1. Для повышения равномерности обработки деталей направление вращения барабана периодически реверсируется.

Обработка производится всухую. Рабочие камеры барабана вентилируются в процессе работы. Выгрузка сыпучего рабочего тела по окончании цикла упрочнения не требуется.

МЕТОД ОБКАТЫВАНИЯ

Обкатывание [1, 2, 3, 14, 15, 16] рекомендуется для обработки деталей, имеющих гладкие наружные цилиндрические и конические поверхности и концентраторы напряжения типа галтелей, канавок, надрезов, резьб и т. д.

Процесс обкатывания основан на вдавливании твердого металлического инструмента (шарика, ролика) в обрабатываемую поверхность при их взаимном перемещении. Шероховатость поверхности в результате обкатывания снижается на один-два класса.

МЕТОД РАСКАТЫВАНИЯ

Раскатывание [1, 2, 3, 10, 12, 15] рекомендуется для размерно-чистой и упрочняющей обработки цилиндрических и конических отверстий 2—3-го класса точности. Процесс основан на вдавливании более твердого, чем обрабатываемый материал, инструмента в упрочняемую поверхность под действием усилий. Принципиальная схема раскатывания представлена на рис. VIII.1.3. Операция производится многороликовым инструментом (раскатником). При раскатывании достигаются: • класс точности 2—3-й; шероховатость поверхности $R_z \sqrt{20} \sqrt{2,5}$ \sqrt{V} — \sqrt{V} ; при исходной $R_z \sqrt{V}$ — \sqrt{V} ; сглаженный микрорельеф с коэффициентом прилегания 0,9 при исходном 0,1—0,15.

Перспективным методом упрочнения отверстий являются дорнование** с большим натягом, применяемое при обработке отверстий $\varnothing 5$ —14 мм болтовых соединений, составленных из листов из однородных и разнородных материалов, и метод глубокого пластического деформирования [25].

Дорнование с большим натягом обеспечивает 1,25 3-й класс точности и шероховатость \sqrt{V} , что позволяет устанавливать в отверстия классные болты. Точность отверстий под дорнование с большим натягом должна соответствовать 4-му классу, 20

а шероховатость $R_z \sqrt{V}$, что исключает операцию развертывания отверстий под классные болты.

Кроме того, дорнование позволяет заменить сверхтугие посадки легкопрессовыми, это значительно уменьшает производственные трудности при постановке болтов. Сверление отверстий под дорнование производится вручную пневмодрелью с насадками, обеспечивающими перпендикулярность оси отверстия к плоскости пакета. В качестве инструмента используются ступенчатые сверла, доработанные из стандартных (ГОСТ 2034—64). Технология дорнования производится специальными дорнами с протяжным устройством, работающим от пневмогидравлического мультипликатора или другого привода с тяговым усилием не менее 4—5 тс (для отверстий до 10 мм). Снятие наплывов материала на выходе и входе дорна производится специальными цековками.

* Заменена установкой УБЯ-3-7 с измененной конструкцией привода.

** Метод разработан на ММЗ «Опыт» под руководством канд. техн. наук Л. Д. Брондза.

АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ

Алмазное выглаживание [1, 2, 6] рекомендуется для упрочнения поверхностей деталей в узлах, воспринимающих статические, ударные и повторно-переменные нагрузки, а также подвергающихся воздействию агрессивных сред, работающих при нормальных и повышенных температурах.

Алмазное выглаживание является процессом отделочно-упрочняющей окончательной обработки путем пластического деформирования тонких слоев поверхности детали инструментом с кристаллом алмаза, заправленным по сфере или цилиндру с $R=1\div 3$ мм. Принципиальная схема алмазного выглаживания представлена на рис. VIII.1.4. В процессе алмазного выглаживания формируется качественно новый микрорельеф поверхности со скругленными выступами и впадинами, без концентраторов напряжения, шаржирования абразивными частицами, трещин и прижогов. Шероховатость поверхности уменьшается на 2—5 классов в зависимости от обрабатываемого материала и исходной шероховатости поверхности.

Процесс выглаживания поверхностей тел вращения сходен с токарной обработкой: обрабатываемая деталь совершает вращательное движение,

а суппорт с державкой — продольную подачу. Алмазный наконечник, закрепленный в державке, поджимается с нужным усилием к выглаживаемой поверхности. При выглаживании конических фасонных поверхностей можно применять копировальные устройства.

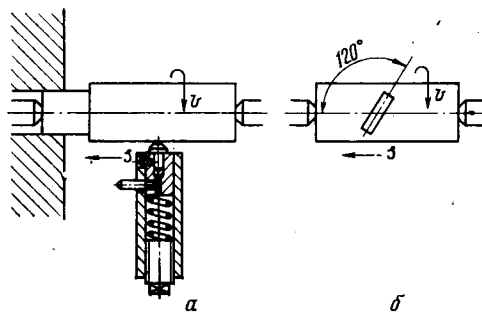


Рис. VIII.1.4. Принципиальная схема алмазного выглаживания:

а — алмаз заправлен по сфере; б — алмаз заправлен по цилиндру.

Основными параметрами процесса выглаживания являются радиус сферы наконечника; усилие прижима; продольная подача; окружная скорость.

Глава 2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТНОМУ УПРОЧНЕНИЮ

ВИБРАЦИОННЫЙ МЕТОД УПРОЧНЕНИЯ

1. Исходная шероховатость на поверхностях, подвергаемых виброупрочнению, должна быть:

20
— $Rz \sqrt{\quad}$ — для стальных деталей и деталей из высокопрочных алюминиевых сплавов В93, В95;

40
— $Rz \sqrt{\quad}$ — для деталей из титановых и алюминиевых сплавов;

2,5
— $\sqrt{\quad}$ — в местах концентраторов напряжений;

1,25
— $\sqrt{\quad}$ — для поверхностей, подлежащих хромированию после вибрационного упрочнения;

2,5
— $\sqrt{\quad}$ — при упрочнении классных поверхностей алюминиевыми кубиками.

2. Не допускаются острые кромки на упрочняемых деталях, радиусы скругления кромок должны быть не менее 1 мм (рис. VIII.2.1.).

3. Радиусы галтелей и других сопряжений должны быть не менее половины диаметра применяемых шариков (см. рис. VIII.2.1.).

4. Детали с толщиной стенок 4 мм и более подвергаются вибрационному упрочнению, а детали с толщиной стенок 4 мм — вибрационному шлифованию.

5. Детали с поверхностями 2-го и 3-го класса точности после вибрационного наклепа разрешается обрабатывать шлифованием, суперфинишированием и хонингованием со снятием припуска до 0,05 мм на сторону.

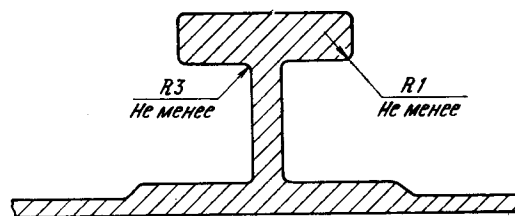


Рис. VIII.2.1. Схема исполнения скругления кромок деталей, подлежащих виброобработке.

7. При наличии классных поверхностей, не подлежащих поверхностному упрочнению, детали следует подвергать виброупрочнению до окончательной обработки. Допускается изоляция классных поверхностей путем постановки специальных защитных кожухов.

8. Режимы упрочнения деталей вибрационным методом приведены в работах [1, 2, 3, 5, 22].

ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКИЙ И ДРОБЕСТРУЙНЫЙ МЕТОДЫ

1. Исходная шероховатость поверхности на гладких поверхностях должна быть для алюминиевых сплавов не более $Rz \sqrt[40]{\quad}$, для сталей и титановых сплавов — $Rz \sqrt[20]{\quad}$.

2. Шероховатость поверхности в местах концентрации напряжений должна быть для алюминиевых сплавов $Rz \sqrt[20]{\quad}$, для титановых сплавов и сталей — $\sqrt[2,5]{\quad}$.

3. Радиусы сопряжения поверхностей должны быть не менее, чем половина диаметра применяемых шариков. Перед обработкой дробью и песком радиус сопряжений не оговаривается.

4. Радиусы сопряжения кромок должны быть не менее 1 мм.

5. Места переходов выполняются в виде скоса с углом 25° . Перепады толщины при резком изменении сечения не должны превышать 8 мм (рис. VIII.2.2).

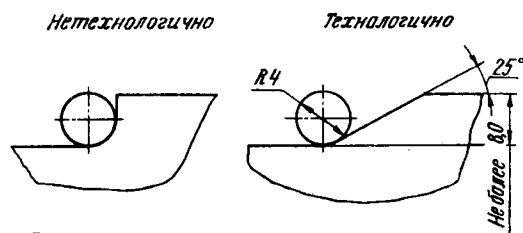


Рис. VIII.2.2. Схема исполнения переходов и перепадов толщин у деталей, подвергаемых струйному упрочнению.

6. Переходы следует выполнять радиусом не менее 2,5 мм.

7. Глубина колодцев с вертикальными стенками не должна превышать 20 мм.

8. Режимы упрочнения пневмодинамическим и дробеструйным способами приведены в [1, 2, 3, 23, 24, 26].

УДАРНО-БАРАБАННЫЙ МЕТОД

1. Ударно-барабанному упрочнению подвергаются поверхности деталей, обработанные режущим инструментом, абразивным инструментом, шлифованием, химическим травлением, горячей штамповкой, прессованием.

2. Исходная шероховатость поверхности под упрочнение должна быть для радиусов сопряжений $Rz \sqrt[20]{\quad}$ и поперечных ребер $Rz \sqrt[40]{\quad}$, для остальных поверхностей $Rz \sqrt[20]{\quad}$.

3. Наибольшие габаритные размеры упрочняемых деталей ограничиваются размерами рабочих камер ударно-барабанных установок.

4. Наименьшая толщина стенок деталей 1 мм.

5. Радиусы сопряжения поверхностей деталей не менее 2 мм. Радиусы сопряжения острых кромок, как правило, не менее 1 мм. Допускается умень-

шение радиусов скругления кромок до 0,5 мм, если на кромках с уменьшенными радиусами не образуются наплывы при упрочнении. Замена радиуса фаской не допускается.

6. Упрочняемые поверхности не должны иметь лакирующего слоя.

7. Технологическое анодирование должно быть удалено перед упрочнением.

8. Детали должны быть термически обработаны до упрочнения.

9. Анодирование и покрытие производятся после упрочнения.

10. Режимы упрочнения деталей приводятся в инструкции [7] и РТМ [21].

МЕТОД ОБКАТЫВАНИЯ

1. Применение обкатывания ограничивается цилиндрическими и коническими поверхностями, галтелями, надрезами, резьбами.

2. Исходная шероховатость поверхности, подвергаемых обкатыванию, для алюминиевых сплавов не выше $Rz \sqrt[20]{\quad}$, и для титановых сплавов и сталей $\sqrt[2,5]{\quad}$.

3. Обкатывание сопровождается изменением диаметра вала, что требует установления соответствующих припусков.

4. Обкатывание не устраняет овальность, конусность и волнистость поверхности.

5. Обкатывание осуществляется на универсальном металлорежущем оборудовании.

6. Режимы обкатывания деталей приведены в [1, 2, 3, 16, 17, 18, 19].

ОБКАТЫВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ НА АВТОМАТЕ АР-16-100

1. На автомате обрабатываются валы, оси, стержни и другие длинномерные детали диаметром до 60 мм, а также детали, имеющие концентраторы напряжений типа галтелей, канавок, выточек, и болты диаметром 5—16 мм.

2. При обкатывании болтов автомат может выполнять следующие технологические операции:

- укатывание распушки стержня под головкой;
- обкатывание галтели болтов;
- обкатывание стержня болта в целях калибровки;
- совмещенное обкатывание галтели и стержня болта;
- правка стержня болта после термической обработки.

3. Обработка деталей на автомате позволяет получать детали по 3-му классу точности.

4. При обработке на автомате шероховатость поверхности снижается на 2—3 класса по сравнению с исходной.

5. Применение автомата позволяет ликвидировать операции окончательного шлифования. Это особенно важно для деталей из титановых сплавов.

6. Режимы обкатывания деталей на автомате АР-16-100 приведены в [17, 18].

МЕТОД РАСКАТЫВАНИЯ

1. Раскатывание применяется при обработке сквозных, глухих, прерывистых отверстий диаметром 6—250 мм в отдельных деталях, а также отверстий в узлах (рис. VIII.2.3).

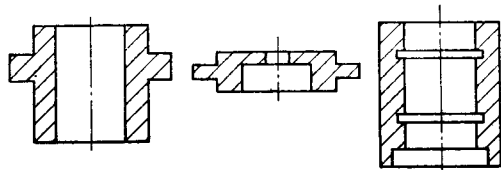


Рис. VIII.2.3. Отверстия, подвергаемые раскатыванию.

2. Исходная шероховатость поверхностей, подвергаемых раскатыванию, для алюминиевых сплавов не выше $Rz \sqrt{20}$ и для титановых сплавов и сталей $\sqrt{2,5}$.

3. Диапазоны диаметров раскатываемых отверстий: сквозных 6—225 мм; глухих 30—185 мм; отверстий под крепеж и шарнирные соединения, обрабатываемые при слесарно-сборочных работах с применением дрелей, 6—50 мм.

4. При проектировании деталей и узлов агрегатов необходимо обеспечить:

- свободный доступ к обрабатываемому отверстию раскатника, закрепленного в шпинделе, или пневмодреда, и выход инструмента при проходе отверстия длиной не менее 15—20 мм;
- возможность последующего снятия фасок с кромок отверстий.

5. Раскатывание отверстий в деталях с затрудненными подходами и недоступными местами не применяется.

6. Раскатывание может применяться для отверстий 1—3-го класса точности. Обработка отверстий грубее 3-го класса точности раскатыванием нецелесообразна.

7. Глубина раскатываемых отверстий для диаметров в диапазоне более 50 мм — до $20d$; для диаметров менее 50 мм — 15 d .

8. Толщина стенки детали, прилегающей к отверстию, должна быть:

- а) для деталей типа труб:
 - диаметром 6—20 мм не менее 2 мм;
 - диаметром 20—50 мм не менее 4 мм;
 - диаметром 50—100 мм не менее 5 мм;
- б) для деталей с несимметричными прилегающими стенками типа фланца:
 - диаметром 6—20 мм 3—10 мм;
 - диаметром 30—100 мм не менее 10 мм;
- в) диаметром более 100 мм толщина стенки устанавливается экспериментально.

• При толщинах стенок, менее рекомендованных, следует либо производить доработку стенки после раскатывания отверстий, либо при раскатывании применять оснастку, обеспечивающую жесткость

стенки отверстия минимального сечения (например, втулки следует раскатывать в запрессованном состоянии).

9. Отверстия, пересекающиеся под углом с поверхностью, должны иметь площадки со стороны входа и выхода раскатника, перпендикулярные его оси. Площадки могут быть обработаны цековкой, зенковкой, фрезерованием и др. (рис. VIII.2.4).

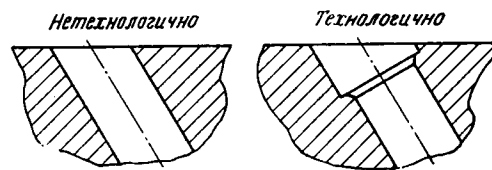


Рис. VIII.2.4. Схемы исполнения отверстий, пересекающихся под углом с поверхностью.

10. При выборе схемы процесса раскатывания следует руководствоваться возможными вариантами взаимного рабочего движения инструмента и детали:

- деталь вращается, инструмент неподвижен;
- деталь неподвижна, инструмент вращается;
- деталь вращается, инструмент вращается.

При использовании всех трех технологических приемов продольное относительное движение обрабатываемой поверхности и деформирующего элемента (ролика) может обеспечиваться продольным перемещением как инструмента, так и детали.

11. Режимы раскатывания отверстий приведены в работах [1, 2, 3, 11, 12, 15].

АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ

1. Алмазное выглаживание применяется для обработки наружных и внутренних поверхностей деталей, имеющих форму тел вращения (штоков, цилиндров, осей, болтов, втулок и др.), изготовленных из алюминиевых сплавов и сталей, кроме титановых сплавов.

2. Алмазное выглаживание является чистовой операцией как перед, так и после гальванических покрытий (например, после твердого хромирования).

3. Исходная шероховатость поверхности детали, подвергаемой алмазному выглаживанию, должна быть $\sqrt{2,5}$.

- для закаленных сталей ($HRC > 45$) — $\sqrt{0,63}$;
- для незакаленных сталей ($HRC < 45$) — $\sqrt{1,25}$;
- для цветных металлов и сплавов — $\sqrt{2,5}$.

4. Рекомендуемые режимы алмазного выглаживания приведены в [1, 6].

5. Выглаживание, как правило, производят в один проход. Если при этом не обеспечивается необходимая шероховатость поверхности, разрешается проводить обработку в два прохода.

Глава 3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Для вибрационной обработки деталей, в зависимости от их конструктивно-технологических особенностей, применяются следующие установки:

ВУД-1000В — для обработки деталей средних размеров типа корпусов, дисков, стрингеров, фитингов и других аналогичных деталей (максимальная длина обрабатываемых деталей 1500 мм);

ВУД-2500В — для обработки крупногабаритных деталей типа балок штоков, траверс, валов и цилиндров (максимальная длина обрабатываемых деталей 2500 мм);

ВУД-4000В — для обработки крупногабаритных деталей шасси, а также корпусов, балок и других аналогичных деталей (максимальная длина обрабатываемых деталей 3500 мм);

ВСУ-1, ВСУ-2, ВСУ-6 — для обработки крупногабаритных деталей типа профилей разъемов крыла, фитингов, кронштейнов, балок и других аналогичных деталей;

высокоамплитудные низкочастотные вибрационные стенды — для обработки сложных деталей типа узла поворота крыла, наконечников, корпусов осевого шарнира, лонжеронов, подвесок и др.

Техническая характеристика некоторых вибрационных установок приведена в табл. VIII.3.1.

Таблица VIII.3.1

Техническая характеристика вибрационных установок

Параметры	Модель		
	ВСУ-1	ВСУ-2	ВСУ-6
Максимальные габаритные размеры обрабатываемых деталей (длина×ширина), мм	3000× ×1200	10 000× ×1400	8000× ×1400
Амплитуда колебаний, мм	3—8	3—8	3—8
Частота колебаний, Гц	13—22	13—22	13—22
Число вибраторов, шт.	6	18	20
Давление в системе гидрозажимов, кПа	4500—6000	4500—6000	4500—6000
Давление в пневмосети, кПа	60—250	60—250	60—250
Траектория колебаний контейнера	Линейная плоскостная	Линейная	Линейная
Уровень шума на расстоянии 3 м, дБ	80—90	80—90	80—90
Мощность электродвигателей, кВт	40	80	80
Габаритные размеры установки, мм	3000× ×3400× ×1000	11 600× ×3400× ×1000	8200× ×3400× ×800
Масса установки, кг	2500	9000	8000

Основные характеристики высокоамплитудного низкочастотного вибростенда для обработки узла поворота крыла

амплитуда вертикальных направленных колебаний, мм	0—±35
частота колебаний, Гц	0—10
максимально допустимое (расчетное) значение виброперегрузки — 9,5 g, где $g=981$ см/с ²	
давление воздуха, кПа	400—600
диаметр тела (шарика), мм	7 (ГОСТ 3722—60)
габаритные размеры стола вибростенда, мм	900×1100
максимальная масса полезной нагрузки, кг	400
мощность привода-электродвигателя, кВт	22
количество оборотов, об/мин	970
габаритные размеры, мм	1900×1200×935
масса установки, кг	11 000

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Для упрочнения пневмодинамическим методом применяются установки моделей ПДУ-1, ПДУ-2 и ПДУ-3. Эти установки предназначены для обработки наружных поверхностей деталей шасси, максимальная длина обрабатываемых деталей 2500 мм [9]. Для местного пневмодинамического упрочнения крупногабаритных деталей применяются типовые устройства [23].

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДРОБЕСТРУЙНЫМ МЕТОДОМ

Для упрочнения дробеструйным методом применяется дробеструйная обитаемая камера (ДОК). Для обработки деталей с помощью дробеметных аппаратов проектируются установки с программным управлением типа УДП-2-1,5; УДП-2-2,5; УДП-2-3,5, изготовление которых намечено в 11-й пятилетке. Установки предназначены для обработки крупногабаритных деталей типа панелей, обшивок, стрингеров, балок и других.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УДАРНО-БАРАБАННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Для ударно-барабанного упрочнения предназначены установки УБЯ-3-7, УБЯ-3-11А, УБЯ-2-5, УБЯ-4-15 и УБЯ-4-30. Из них первые три находятся в эксплуатации, на две последние имеется конструкторская документация.

Техническая характеристика установок для ударно-барабанного метода упрочнения приведена в табл. VIII.3.2.

Таблица VIII.3.2

Техническая характеристика установок для ударно-барабанного метода упрочнения

Показатель	УБЯ-2-5	УБЯ-3-7	УБЯ-3-11А	УБЯ-4-15	УБЯ-4-30
Номинальные размеры рабочей камеры, мм:					
диаметр	2000	3000	3000	4000	4000
длина	5000	7000	11 000	15 500	30 500
глубина	250	360	360	400	400
Наибольшие размеры обрабатываемых деталей, мм:					
длина	4800	6800	10 800	15 000	30 000
ширина	1000	1500	1500	2500	2500
высота	125	180	180	200	200
Ориентировочная производительность при двухсменной работе (упрочнение деталей с обеих сторон) м/год	5000	8 000	13 000	23 000	23 000
Число рабочих камер	2	2	2	2	1
Частота вращения барабана, об/мин	19,5	16	16	14	14
Мощность привода, кВт	40	75	100	160	160
Количество сыпучего рабочего тела, кг	1000	2000	3400	6000	5000
Габаритные размеры установки, мм:					
длина×ширина×высота	9800× ×4800× ×3500	11 900× ×5800× ×3360	16 750× ×7000× ×4900	21 500× ×7000× ×4950	36 700× ×7100× ×5000
Масса установки, т	20	22	40	54	87

благоприятные условия в отношении устойчивости и жесткости системы станок—инструмент—деталь создаются при работе с инструментом с тремя или большим числом роликов. Однако однорольковые приспособления имеют и преимущества: простота конструкции, возможность установки их в любой момент на суппорт станка взамен реза. Для обкатывания же несколькими роликами нужны более громоздкие конструкции устройств, нередко требующие для своей установки частичной разборки или полного удаления суппорта станка, съема обрабатываемой детали. Обкатывание одним роликом предпочтительно в промышленном или мелкосерийном производстве крупных деталей и при осуществлении разнообразных ремонтных работ. В крупносерийном и массовом производстве, как правило, целесообразнее обкатывание несколькими роликами, особенно для деталей удлиненной формы.

Раскатный автомат АР-16-100 предназначен для обкатывания стержня и радиуса под головкой болтов $\varnothing 5-16$ мм, а также гладких валов диаметром до 60 мм.

Обкатный станок СО-06-1200 предназначен для чистовой и упрочняющей обработки путем обкатывания роликами внутренних и наружных поверхностей барабанов и реборд авиаколес. Диаметр обрабатываемых деталей 50—650 мм. Техническая характеристика оборудования для обкатывания роликом приведена в отраслевом типаже [9].

ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ ОБКАТЫВАНИЯ

Обкатывание деталей в зависимости от их типоразмеров можно производить как на универсальных (токарных, сверлильных, фрезерных, расточных и др.), так и на специальных станках типа АР-16-100, СО-06-1200. Обкатывание деталей роликами на обычном металлорежущем оборудовании выполняется с помощью приспособлений, содержащих один, два, три или четыре одновременно действующих ролика. При обкатывании одним роликом усилие обкатывания воспринимается частью станка, на котором устанавливается обкаточное приспособление.

Во избежание больших усилий обкатывания необходимо применять ролики с возможно меньшими диаметрами и радиусами профильной части. Обкатывание галтелей больших радиусов должно производиться с помощью приспособления, позволяющего перемещать ролик по образующей галтели с одновременным поворотом относительно ее центра кривизны. Гостировано три типа однорольковых обкатников упругого действия (ГОСТ—16339—70÷ГОСТ—16345—70). Наиболее

ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ РАСКАТЫВАНИЯ

Раскатывание отверстий в зависимости от типоразмеров деталей, принятой на заводе технологии и места операции в технологическом цикле изготовления может производиться как на универсальных (фрезерных, сверлильных, расточных), так и на специальных станках и стендах. В качестве инструмента для раскатывания отверстий на станочном оборудовании применяются раскатники, конструкция и размеры которых приведены в [10, 13, 14]. В условиях механосборочных работ раскатывание производится с применением ручного механизированного инструмента (пневмо- и электродрели) с применением самозаходных роликовых раскатников. При раздельной разделке отверстий и их раскатывании для раскатывания применяется оснастка, обеспечивающая фиксацию и крепление детали для обеспечения соосности шпинделя станка и раскатника не хуже 0,2 мм. Во всех случаях необходимы шарнирные связи инструмента со шпинделем привода, кроме случаев, когда используются раскатники с направляющими для обработки отверстий дрелью.

ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ДЛЯ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Алмазное выглаживание можно производить на различных металлорежущих станках (токарных, фрезерных, расточных, шлифовальных и др.) нормальной и повышенной точности, а также на обрабатывающих центрах и станках с ЧПУ с применением специальных оправок, в которых упруго закрепляется выглаживающий наконечник. На-

большее распространение в настоящее время получили наконечники, рабочая поверхность которых выполнена в виде сферы радиусом 0,8—5 мм. В некоторых случаях применяются наконечники цилиндрической или тороидальной формы. Такие наконечники изготавливаются Томилинским заводом алмазного инструмента по ОСТ 2.И775—75Е [27]. В качестве инструментального материала используются природные алмазные и синтетические сверхтвердые материалы типа балласс, карбонадо и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поверхностное упрочнение деталей из конструкционных сталей. Инструкция ВИАМ № 901—72.
2. Поверхностное упрочнение деталей из алюминиевых сплавов. Инструкция ВИАМ № 949—69.
3. Поверхностное упрочнение деталей из титановых сплавов. Инструкция ВИАМ № 1039—74.
4. Пневмодинамический метод поверхностного упрочнения деталей из алюминиевых сплавов и сталей. Труды НИАТ № 235, 1967.
5. ПИ-1.4.404—78. Шлифование и полирование деталей виброабразивным методом. НИАТ, 1979.
6. ПИ-1.4.517—78. Поверхностное упрочнение деталей алмазным выглаживанием. НИАТ, 1980.
7. ПИ-1.4.009—76. Упрочнение деталей из алюминиевых сплавов ударно-барабанным способом. НИАТ, 1978.
8. Разработка и исследование ударно-барабанного способа упрочняющего наклепа и зачистки крупногабаритных деталей типа монолитных панелей из алюминиевых сплавов. Труды НИАТ № 349, 1974.
9. Отраслевой типаж специализированного оборудования по упрочняющей технологии на 1981—1985 гг. НИАТ, 1981.
10. Раскатники роликовые регулируемые для цилиндрических отверстий диаметром 6—100 мм. ОСТ 1.51023—73÷—ОСТ 1.51026—73, ОСТ 1.51074—73.
11. РТМ-1294. Размерно-чистовая и упрочняющая обработка цилиндрических отверстий в деталях раскаткой роликами. НИАТ, 1972.
12. ПИ-246—74. Поверхностное упрочнение силовых узлов из сплава ВТ20, стали 30ХГСНА и 30ХГСНА. НИАТ.
13. ОСТ 1.52393—79÷ОСТ 1.52394—79. Раскатники роликовые регулируемые для сквозных цилиндрических отверстий диаметром 105÷200 мм. Конструкция и размеры.
14. ОСТ 1.52465—79. Раскатники жесткие роликовые регулируемые самоходные для отверстий диаметром 6—12 мм. Конструкция и размеры.
15. ПИ-1.4.527—79. Развертывание и раскатывание отверстий в силовых смешанных пакетах из разнородных материалов. НИАТ.
16. Определение оптимальных режимов обкатывания цилиндрических поверхностей и галтелей деталей экспериментально-аналитическим методом. ТР-993—74. НИАТ, 1974.
17. Обкатывание стержня и галтели болтов с шестигранной головкой из титанового сплава ВТ16 на автомате АР-16—100 по совмещенной схеме обработки. ТР-1145. НИАТ, 1975.
18. Упрочнение галтелей, проточек цилиндрической части крепежа из материалов 30ХГСНА, 40ХНМА, ВТ22 на автомате АР-16-100 на однороликовом приспособлении. ТР-1.4.017—76. НИАТ, 1976.
19. Методика определения режимов обкатывания деталей роликами. НИАТ, 1981.
20. О порядке внесения в рабочие чертежи и технологическую документацию технических требований по упрочнению деталей самолетов, вертолетов, авиационных двигателей и агрегатов. Инструкция НИИСУ 2—74.
21. РТМ-1.4.876—81. Ударно-барабанное упрочнение деталей из алюминиевых сплавов. НИАТ.
22. ПИ-1.4.444—78. Упрочнение виброударное деталей из конструкционных сталей, титановых и алюминиевых сплавов. НИАТ.
23. ПИ-1.4.538—79. Местное упрочнение деталей пневмодинамическим поверхностным наклепом. НИАТ.
24. ПИ-1.4.379—77. Упрочнение деталей из алюминиевых сплавов дробеструйным методом. НИАТ.
25. ПИ-1.4.930—81. Упрочнение конструктивных концентраторов напряжений в деталях методом глубокого пластического деформирования. НИАТ.
26. ПИ-229—73. Поверхностное упрочнение деталей из высокопрочных сталей пневмодинамическим методом. НИАТ.
27. ОСТ 2.И775—75Е. Наконечники алмазные для выгла-

Непрерывное совершенствование конструкций летательных аппаратов, широкое применение новых марок материалов, трудно обрабатываемых резанием, потребовали создания новых методов и средств изготовления деталей.

В последнее время в серийном и опытном производстве получили распространение новые прогрессивные методы обработки: электронным и световым лучом (лазером), электроэрозионный и электрохимический.

В данной части приведены краткие сведения о новых методах обработки и требования к конструкции деталей в связи с применением этих методов.

Знание технических возможностей новых методов обработки позволит конструкторам в процессе проектирования применять такие конструктивные решения, которые в значительной мере повысят технологичность деталей и узлов летательных аппаратов.

Глава 1. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА

СУЩНОСТЬ МЕТОДА

Сущность метода электронно-лучевого изготовления отверстий заключается в локальном разрушении и удалении в вакууме обрабатываемого материала, нагретого сфокусированным пучком ускоренных электронов с удельной мощностью 10^7 — 10^8 Вт/см².

Электронно-лучевая размерная обработка (ЭЛО) осуществляется на специальных установках, в которых поддерживается рабочий вакуум порядка $2 \cdot 10^{-3}$ — $3 \cdot 10^{-3}$ Н/м² (рис. IX.1.1).

Производительность процесса не зависит от механических характеристик обрабатываемого материала, она определяется электрическими параметрами процесса, объемом удаляемого материала и его теплофизическими и химическими свойствами.

Точность и стабильность процесса обработки отверстий определяется точностью юстирования и настройки электронно-оптической системы установки, стабильностью работы всех источников питания и блоков управления процессом обработки, а также правильным заданием режима обработки. Наблюдение за ходом процесса осуществляется через иллюминаторы и специальный микроскоп, встроенный в электронно-оптическую колонну.

Для программирования процессов обработки применяются различные системы программного управления электронным пучком и координатными столами ЧПУ или ЭВМ.

Для повышения точности и производительности операций выполнения отверстий, а также для получения минимального измененного слоя на стенках отверстия применяются специальные технологические подложки и наполнители.

Процессы ЭЛО сопровождаются интенсивным выбросом капель и паров обрабатываемого материала и технологической подложки или наполнителя.

Для защиты элементов электронной оптики и внутренних поверхностей камеры от продуктов обработки применяются специальные экраны и приспособления.

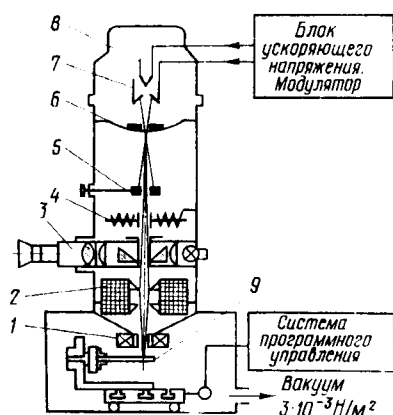


Рис. IX.1.1. Блок-схема ЭЛО:

1 — отклоняющая система; 2 — электромагнитная линза; 3 — микроскоп; 4 — стигматор; 5 — диафрагма; 6 — анод; 7 — управляющий электрод; 8 — катод; 9 — деталь.

Габаритные размеры камеры определяются размерами обрабатываемых деталей и механизмов, их перемещающих в вакууме в процессе установки, настройки электронного луча и обработки.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОННО- ЛУЧЕВЫХ УСТАНОВОК

Оборудование для ЭЛО отверстий характеризуется мощностью электронного луча (произведением ускоряющего напряжения на ток луча), количеством перемещений координатного стола (координат), размерами вакуумной рабочей камеры и системой программного управления процессом обработки.

В настоящее время завод электронных микроскопов и электроавтоматики им. 50-летия ВЛКСМ (г. Сумы, УССР) серийно выпускает по спецнарядам электронно-лучевую установку модели ЭЛУРО-П (ПТ), разработанную НИИПФ АН СССР.

Для расширения технологических возможностей серийной установки ЭЛУРО-П в области увеличения диапазона диаметров и глубины обрабатываемых отверстий; количества координат рабочего стола; точности, стабильности и производительности процесса ЭЛО в НИАТе разработана техническая документация на модернизацию установки ЭЛУРО-П (ПТ) (рис. IX.1.2) и изготовлен ее опытный образец. Установка ЭЛУРО-ПМ укомплектована пятикоординатным рабочим столом и системой программного управления модели Н55-1.

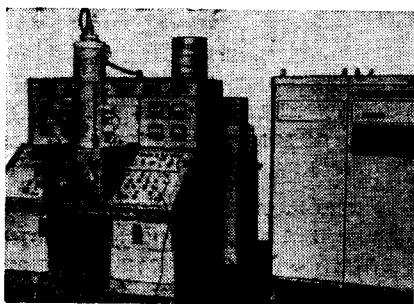


Рис. IX.1.2. Модернизированная электронно-лучевая установка модели ЭЛУРО-ПМ.

Для электронно-лучевого перфорирования листовых материалов размером 2000×500 мм или других деталей (лопатки ГТД, экраны форсажных камер и камер сгорания, фильтры, звукопоглощающие панели коллекторов и т. п.) с более высокими скоростями обработки и большими технологическими возможностями фирма «Штайгервальд-Штралтехник» (ФРГ) выпускает несколько типов электронно-лучевых установок моделей K6G10P NC, K12G10P (объем камер 0,6 и 1,2 м³, соответственно) с управлением процессом обработки от ЭВМ.

Модернизированная установка ЭЛУРО-ПМ укомплектована отклоняющей системой ОС-2, разработанной в НИАТе. С помощью стандартных генераторов модели НГПК-3 или ГЗ-39 можно осуществлять развертку электронного луча в пределах окружности диаметром 5 мм.

Техническая характеристика электронно-лучевых установок

	ЭЛУРО-П (ПТ)	ЭЛУРО-ПМ	K6G10P NC, K12G10P NC
Ускоряющее напряжение, кВ	50—100	50—100	50—125
Ток луча в импульсе, мА	10	60	100
Длительность импульса, мкс	10—100	100—1500	$(4-60) \times 10^3$
Частота импульса, Гц	1—3300	100	$(0,16-20) \times 10^3$
Пределы перемещения координатного стола по оси, мм:			
X	100	185	300
Y	150	95	210
верт.	—	80	—
Вращение вокруг оси, град.:			
X	—	0—300	0—360
Y	—	0—300	—
Точность перемещения, мм	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$\pm 0,010$
Производительность изготовления отверстий в деталях толщиной 1,0—4,0 мм, отв/с, при диаметре отверстия, мм:			
0,1	1—0,5	50—10	1000—300
0,3	—	20—10	200—50
0,5	—	10—5	100—10
Система программного управления:			
тип	ЧПУ	ЧПУ	ЭВМ
модель	«Контур-2п»	H55-1	РДР-8/е
Габаритные размеры вакуумной камеры, мм	$585 \times 430 \times 440$	$585 \times 430 \times 440$	$950 \times 600 \times 800$
Время создания рабочего вакуума 2×10^{-3} Н/м ² , мин	15	15	3
Требуемая производственная площадь, м ²	30	30	56

Вакуумная станция установки содержит форвакуумный и диффузионный насосы большой производительности.

Время создания рабочего вакуума в камере установки определяется объемом камеры, производительностью вакуумной станции, а также чистотой обрабатываемой детали и механизмов перемещения.

В настоящее время разработаны устройства непрерывной подачи ленточных материалов в вакуумную камеру с помощью промежуточных шлюзов. При использовании таких устройств можно обрабатывать ленты бесконечной длины.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ЭЛО

Электронный луч как инструмент для обработки отверстий характеризуется энергией (ускоряющим напряжением и током луча в импульсе), частотой,

длительностью и формой импульса, распределением энергии в фокальной плоскости и углом сходимости.

Ускоряющее напряжение для изготовления отверстий диаметром 0,05—0,5 мм в оптимальном режиме 100—120 кВ, стабильность ускоряющего напряжения при постоянном токе луча 10,0 мА составляет 0,01%.

Величина тока электронного луча в импульсе 5—50 мА при изготовлении отверстий диаметром 0,05—0,5 мм составляет 5—50 мА и выбирается такой, чтобы плотность энергии в фокусе луча составляла 10^7 — 10^9 Вт/см². Нестабильность местоположения фокального пятна луча за 1 ч работы не более 50 мкм.

Длительность импульса электронного луча выбирается в зависимости от вида обработки (изготовление точного отверстия или перфорирование), диаметра, глубины и точности отверстия, теплофизических характеристик обрабатываемого материала. Она определяет точность и чистоту поверхности отверстия, толщину измененного слоя и форму отверстия. Диапазон длительности импульса 100—6000 мкс.

Частота следования импульсов электронного луча определяет производительность процесса обработки отверстий, шаг между отверстиями при перфорировании и обычно составляет 1—1000 Гц. Она не должна превышать оптимальных значений, так как с повышением частоты увеличивается зона структурных изменений и уменьшается точность обработки.

При электронно-лучевом перфорировании отверстий диаметром 0,05—0,5 мм в листовых труднообрабатываемых материалах толщиной 0,1—3,0 мм (рис. IX.1.3) в качестве технологических подложек применяется силиконовая резина марки 5Р129 (ТУ 3805-1166-3).

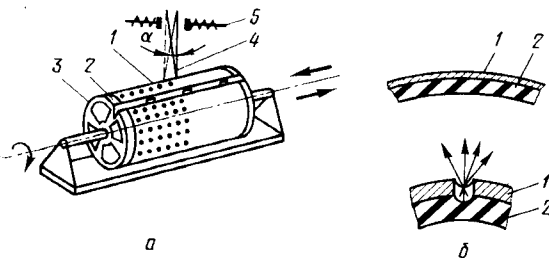


Рис. IX.1.3. Блок-схема перфорирования листовых материалов методом ЭЛО:

а — схема перемещения детали и электронного луча во время перфорирования; б — схема обработки с технологической подложкой;

1 — перфорируемая заготовка; 2 — технологическая подложка; 3 — вращающийся барабан; 4 — электронный луч; 5 — отклоняющая система.

При получении отверстий диаметром 0,05—0,5 мм в деталях закрытого типа для предохранения внутренней полости от повреждения лучом, увеличения диаметра отверстия, уменьшения зоны структурных изменений и повышения производительности применяются специальные технологические наполнители.

При перфорировании труднообрабатываемых материалов типа ВЖЛ12 и ВЖ98 на оптимальных режимах достигаются следующие технологические

показатели: шероховатость поверхности $\sqrt{2,5} - \sqrt{0,04}$; точность обработки 2—4-й класс; зона структурных изменений 0,01—0,06 мм.

Зависимость времени обработки отверстий и их диаметров от толщины обрабатываемого материала для одноимпульсной ЭЛО приведена на рис. IX.1.4—IX.1.7.

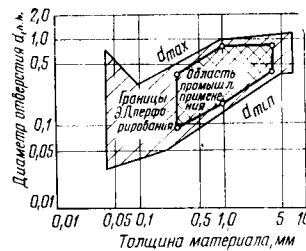


Рис. IX.1.4. Область электронно-лучевого перфорирования металлов.

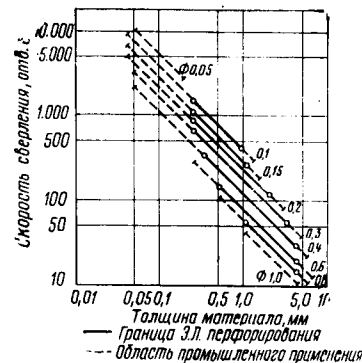


Рис. IX.1.5. Режим ЭЛО: — границы ЭЛ перфорирования; — область промышленного применения.

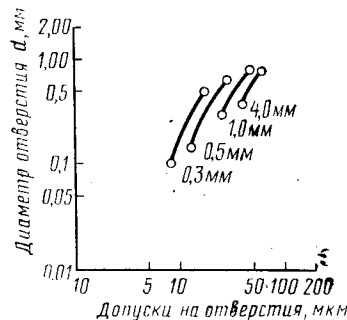


Рис. IX.1.6. Допуски на отверстия при ЭЛО деталей различных толщин.



Рис. IX.1.7. Типичная форма отверстий, получаемых при ЭЛО.

Указанные технологические показатели, а также высокая производительность процесса ЭЛО достигаются при точном юстировании электронно-оптической колонны и контроле режимов обработки.

Метод электронно-лучевого перфорирования целесообразно применять для изготовления отверстий в деталях типа сеток (рис. IX.1.8, IX.1.9).



Рис. IX.1.8. Образец перфорирования крыла из материала Д16 толщиной 0,5 мм с отверстиями диаметром 0,2 мм.

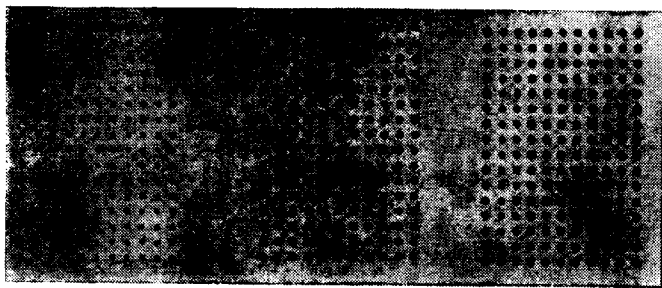


Рис. IX.1.9. Сетка с отверстиями диаметром 0,2—0,5 мм, толщиной 3 мм из материала ВЖ98.

Исходя из технологических возможностей и особенностей процесса ЭЛО можно сформулировать следующие требования к конструкции деталей, предназначенных для обработки электронно-лучевым методом:

- размеры детали совместно с технологической оснасткой должны быть меньше размеров вакуумной камеры;
- при получении отверстий под углом к поверхности угол обработки должен быть не менее 20° ;
- при перфорации площадь отверстий не должна превышать 25% общей площади обработки;
- точность позиционирования детали и оснастки для каждого отверстия по отношению к плоскости полюсного наконечника магнитной линзы должна быть не хуже 0,1 мм;

— расстояние между отверстиями (шаг) должно быть не менее двух диаметров изготавливаемых отверстий.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЭЛО

Метод ЭЛО обеспечивает высокую производительность при получении отверстий диаметром 0,1—0,8 мм в деталях толщиной до 5 мм в любых труднообрабатываемых и жаропрочных материалах. Изготовление отверстий ведется в вакууме, что уменьшает степень загрязнения поверхности отверстия детали. Процесс полностью автоматизирован.

Экономически целесообразно применять метод ЭЛО для серийного производства деталей с 50—100 отверстиями, изготавливаемыми при одной загрузке камеры.

Наибольший эффект данный метод может дать при использовании специализированных электронно-лучевых установок для одной номенклатуры деталей.

Несмотря на относительно высокую стоимость оборудования метод экономически эффективен, так как затраты на эксплуатацию и обслуживание минимальны.

Глава 2. ЛАЗЕРНАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Лазерная размерная обработка осуществляется с помощью установок на базе оптических квантовых генераторов (ОКГ) — лазеров.

Лазерное излучение, характеризующееся высокой степенью монохроматичности и когерентности, фокусируется в узкий сходящийся луч и направляется на место обработки. В результате большой плотности потока излучения (до 10^9 — 10^{10} Вт/см²) в месте обработки мгновенно испаряются практически любые конструкционные материалы, применяемые в самолетостроении.

Внутри области лазерной обработки можно выделить направления, имеющие свою специфику, а именно: получение отверстий; резку.

ПОЛУЧЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ

С помощью лазера можно получить как единичные отверстия в силовых элементах планера, крепежных и других деталях диаметром менее 1 мм, так и большое количество отверстий в панелях ламинаризованного крыла, трубках противопожарных систем. Отверстия получаются с высокой степенью чистоты поверхности и точности.

Достоинства лазерного метода полнее всего реализуются при получении отверстий малых диаметров, выполнение которых существующими методами затруднено или вообще невозможно.

Схема получения единичных отверстий показана на рис. IX.2.1. Различают два метода получения отверстий: одноимпульсный и многоимпульсный.

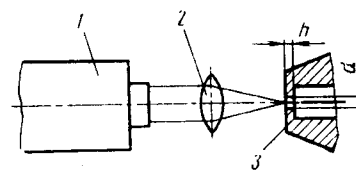


Рис. IX.2.1. Схема получения единичных отверстий:

1 — лазер; 2 — оптическая система; 3 — деталь.

При одноимпульсной обработке сфокусированное лазерное излучение в начальной стадии разогревает материал детали до температуры плавления (рис. IX.2.2, а), затем наступает квазистационарная стадия испарения материала (рис. IX.2.2, б), граница разрушения под действием потока излучения перемещается внутрь детали. Впереди этой границы располагается слой прогретого и частично расплавленного материала. Продукты разрушения в виде пара и капель материала со скоростью 10^3 см/с вылетают навстречу лучу. Когда граница разрушения достигает нижней поверхности материала, под действием давления паров происходит

Таблица IX.2.1

Материал	Толщина, мм	Диаметр отверстия, мм	Режим обработки					
			q	одноимпульсный		многоимпульсный		
			Вт/см ²	W, Дж	τ , мс	W, Дж	τ , мс	n
Стали, железо-нике- левые сплавы	0,1—0,2	0,02—0,05	10 ⁷	0,1—0,2	0,1—1,0	0,05	0,1	3—5
		0,05—0,1		0,2—0,5		0,1		3—5
	0,3—0,6	0,03—0,05		0,2—0,5		0,05	0,1	5—10
		0,1—0,2		0,7—1,5		0,1		5—15
	1—2	0,1—0,2		2—4		0,5	0,1—1,0	5—10
		0,5—0,6		10		1,0		10
Тугоплавкие метал- лы и сплавы	0,1	0,01—0,02	5·10 ⁷	0,1	0,1—1,0	0,05	0,1	2—3
	0,2	0,02—0,05		0,2—0,4		0,05	0,1	5—10
	0,5	0,03—0,05		0,5—1,0		0,1	0,1—1,0	5—10
		0,1—0,2		2—4		0,5	0,1—1,0	5—10
	1,0	0,1—0,2		5—10		1,0	0,1—1,0	5—10
Бронзы, дюралюми- ний, сплавы на осно- ве меди и алюминия	0,1	0,02—0,05	10 ⁸	0,1—0,2	0,1—0,5	0,05	0,1	2—4
	0,2	0,02—0,05		0,2—0,4		0,05	0,1	5—10
	0,5	0,05—0,1		0,7—1,5		0,2	0,1	4—8
	1,0	0,05—0,1		1—2		0,2	0,1	6—12
		0,2—0,3		3—5		0,5	0,1	6—10
	5	0,5—1,0		30—100		10	0,1—0,5	5—10

Исходя из особенностей и технологических возможностей метода можно сформулировать следующие требования к конструкции деталей, предназначенных для лазерной обработки:

— при выполнении отверстий под углом к поверхности угол обработки должен быть не менее 30°;

— при перфорировании замкнутых поверхностей необходимо предусмотреть защиту поверхностей, противолежащих месту обработки, от повреждения проходящим лучом при их близком взаимном расположении.

Экономически целесообразно применять лазерный метод для получения одиночных отверстий, при перфорировании деталей с числом отверстий, не превышающим несколько сотен, если применение других методов затруднено либо невозможно.

ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА

Сущность процесса лазерной или газолазерной резки (ГЛР) состоит в совместном воздействии на поверхность обрабатываемого объекта сфокусированного пучка непрерывного или квазинепрерывного лазерного (обычно СО₂-лазерного) излучения и соосной пучку струи газа, используемого для удаления продуктов разрушения и для дополнительного энерговклада в процессе разрушения за счет экзотермической реакции окисления. При ГЛР обычно используются аргон, азот или кислород.

Существующее экспериментальное оборудование представляет собой СО₂-лазерные установки единого изготовления средней мощности (до

1000 Вт) с медленной прокачкой рабочей смеси или, в редких случаях, мощные (до 10 кВт) СО₂-лазерные установки с быстрой поперечной прокачкой рабочей смеси и различные экспериментальные координатографы или специально оборудованные фрезерные станки с ЧПУ.

На рис. IX.2.5 представлена схема одного элемента СО₂-лазерных установок с медленной прокачкой газа, применяемых в технологии ГЛР. Заданное число упомянутых элементов, размещенных последовательно по ходу луча в резонаторе, позволяет получить лазерное излучение определенной мощности.

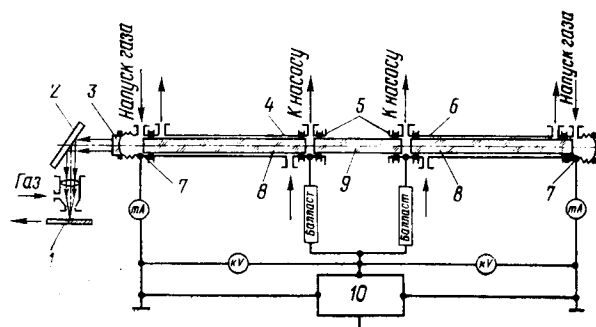


Рис. IX.2.5. Схема технологической СО₂-лазерной установки с медленной прокачкой:

1 — обрабатываемый элемент; 2 — отклоняющее зеркало; 3 — выходное зеркало; 4, 6 — рубашки охлаждения; 5, 7 — электроды; 8, 9 — стеклянные трубки диаметром 65 мм, длиной 3000 (8) и 800 (9) мм; 10 — выпрямитель.

В табл. IX.2.2 приведены установки с медленной прокачкой рабочей смеси, различающиеся числом и компоновкой лазерных элементов.

Таблица IX.2.2

Наименование CO ₂ -лазерной установки	Тип установки	Число элементов (рядов)	Габаритные размеры, мм	Мощность лазерного излучения	Потребляемая мощность, кВт
„Разряд-6“ (НИАТ)	С медленной прокачкой	6	8,000× ×0,650× ×2,700	800	25,00
„Катунь-1“ („Полюс“)	То же	6	6,000× ×0,700× ×1,400	800	20,00
„Кардамон“ („Исток“)	„	4	6,000× ×0,700× ×1,200	1000	25,00
Model-1000 (США, Photon Source)	„	—	3,850× ×1,050× ×1,800	1000	11,00
ТЛ-1 (ФИАЭ)	С быстрой поперечной прокачкой	—	4,000× ×2,000× ×2,500	До 5000	100,0
ЭУЗК (СУЗК) (МПБ)	То же	—	—	До 7000	150,0
„Сириус“ (ИПМ)	С медленной прокачкой	5	8,00× ×0,600× ×2,500	1000	22,00
Model-971 (Sylvania, США)	С быстрой поперечной прокачкой	—	1,800× ×0,900× ×1200	1000	40
HPL-10 (AWCO, США)	С быстрой поперечной прокачкой с предфокусировкой	—	—	15000	200

На рис. IX.2.6 приведена оптическая схема управления лучом на координатографе с ЧПУ с «бегающими» зеркалами. В данном случае лазер и обрабатываемый объект неподвижны, а сфокусированный луч сканирует по поверхности обрабатываемого объекта в результате перемещения двух зеркал по двум взаимно перпендикулярным направлениям. С помощью такого лазерного

нужно расположить на месте режущего инструмента так, чтобы фокальная точка лазерного пучка на выходе из резака заменяла режущую кромку фрезы, и обеспечить подвод излучения зеркалами, используя координатные перемещения станка.

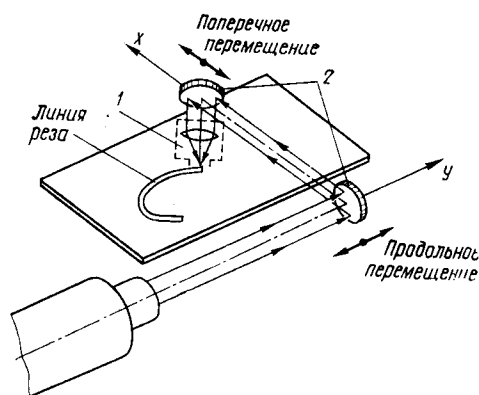


Рис. IX.2.6. Оптическая схема координатографа с «бегающими» зеркалами: 1 — режущая лазерная головка; 2 — отклоняющие зеркала.

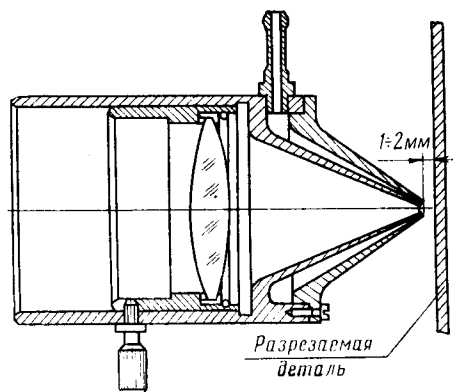


Рис. IX.2.7. Конструктивный вид лазерного резака.

При лазерной вырезке деталей по контуру отклонение разрезаемого листового материала от плоскости должно быть таким, чтобы луч обеспечивал прорезание с учетом скосов от наклонов и изгибов.

Во всех случаях фокальная точка лазерного пучка должна лежать на поверхности обрабатываемого материала, а расстояние от обреза сопла резака до поверхности должно быть 1—2 мм. Скорость резки при вырезке (обрезке) заготовки (детали) по контуру должна выдерживаться с точностью $\pm 15\%$ от ее оптимальной величины.

Техническая характеристика лазерной резки различных материалов

	Конструкционные углеродистые стали	X18H10T	Титановые сплавы	ВНС-2	СН-3	ЖС6	ЭИ602	Стеклопластик	Оргстекло	Резина	Стекловолокно
Мощность лазерного излучения, Вт	350	350	350	800	800	800	800	350	350	350	350
Толщина листов, мм	0,5—5	0,5—5	0,5—5	1,5	2,5	3,0	1,0	0,5—5	0,5—10	0,5—10	0,1—2
Скорость резания, м/мин	5—0,5	3—0,3	5—0,5	3,4	1,6	1,1	2,3	3—0,3	2—0,5	3—0,5	5—1
Ширина реза, мм	0,2—1	0,2—0,6	0,5—1	0,25	0,4	0,3	0,3	0,6—1	0,5—1	0,5—1	0,2—0,5
Ширина зоны термического влияния, мм	0,2—0,3	0,1—0,2	0,3—0,5	0,15	0,25	0,15	0,15	0,2—0,4	0,15	0,3	0,1

устройства можно вырезать любую фигуру на плоскости согласно записанной на ленте программе.

Для вырезки плоских фигур из листового материала сравнительно легко переоборудовать фрезерный станок с ЧПУ. Лазерный резак (рис. IX.2.7)

Технико-экономическая оценка метода ГЛР показывает, что его целесообразно применять при вырезке тонколистовых плоских деталей криволинейной формы, при обрезке облоя после штамповки, где производительность возрастает в несколько раз по сравнению с другими методами.

Глава 3. ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

СУЩНОСТЬ МЕТОДА
И ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ВОЗМОЖНОСТИ

Электроэрозионный метод обработки материалов основан на использовании электротермических процессов, возникающих при электрическом разряде между инструментом и обрабатываемой деталью. Величина тока, напряжения, а также некоторые другие параметры электрического разряда определяют разновидности электроэрозионной обработки: электроискровую, электроимпульсную, электроконтактную и анодно-механическую. Каждая из них отличается технологическими характеристиками, оборудованием и областью промышленного применения.

Электроискровой и электроимпульсный способы обработки осуществляются в ванне, заполненной диэлектрической жидкостью (при некоторых операциях рабочую жидкость подводят в межэлектродный зазор с помощью сопла). Во время работы зазор между электродами поддерживается автоматически регулятором. К электроду-инструменту и детали от специального генератора импульсов подводится напряжение. При поступательном движении электрода-инструмента после каждого электрического разряда происходит удаление микрочастиц материала с обрабатываемой детали. В результате в детали образуется поверхность, идентичная форме инструмента. Описанный процесс называется объемным копированием или прошиванием. Указанными способами могут быть получены поверхности довольно сложной формы также непрофилированным электродом-инструментом за счет соответствующей кинематики системы инструмент — деталь.

Электроискровой способ имеет следующие отличительные признаки. Электрод-инструмент включается на прямую полярность (катод). Источники питания — зависимые релаксационные (конденсаторные) генераторы знакопеременных импульсов напряжения, ограниченно зависимые или независимые высокочастотные тиристорные или транзисторные генераторы. Напряжение на электродах (средняя величина) — 50—300 В, длительность импульсов 10^{-6} — $0,5 \cdot 10^{-4}$ с, скважность импульсов более 5, мощность до 12 кВт.

Электроэрозионная обрабатываемость материалов в значительной степени зависит от параметров импульсов, поэтому сравнительная обрабатываемость некоторых материалов при электроискровой обработке (табл. IX.3.1) носит относительный характер (обрабатываемость стали принята за единицу).

Таблица IX.3.1

Обрабатываемый материал (анод)	Обрабатываемость	Обрабатываемый материал (анод)	Обрабатываемость
Магний	6,0	Никель	0,8
Алюминий	4,0	Титан	0,6
Латунь	1,6	Молибден	0,5
Медь	1,1	Твердый сплав	0,5
Сталь	1,0	Вольфрам	0,3

Данные таблицы получены при следующих параметрах импульсов: энергия импульса 0,125 Дж, длительность импульса 14 мкс, частота 1200 Гц, напряжение источника питания 220 В, напряжение начала разряда 30 В, амплитуда тока 250 А.

Шероховатость поверхности, обработанной электроискровым способом, в зависимости от режима обработки изменяется от 1-го до 8-го класса (для стали). Шероховатость на обычно применяемых чистовых режимах соответствует примерно 5-му классу, а на особо тонких работах (обработка малых отверстий) — 7—8-му. Глубина измененного слоя при обработке стали на грубых режимах $Rz\ 320$ $Rz\ 160$ 60—100 мкм (при шероховатости $\sqrt{\quad}$ — $\sqrt{\quad}$). Максимальная производительность при электроискровой обработке стали 1000 мм³/мин. Общий диапазон износа электрода-инструмента при обработке сталей 10—125% от объема металла, удаляемого с обрабатываемой детали.

Электроискровой способ целесообразно применять при обработке небольших поверхностей (до 500 мм²) и малой глубине обработки (гравюры, штампов и др.), при обработке тонких щелей, отверстий малого диаметра (менее 1 мм), изготовлении сеток, при обработке твердого сплава и др.

Электроимпульсный способ. Электрод-инструмент включается на обратную полярность (анод). Источники питания — машинные, магнитонасыщенные или тиристорные генераторы низких и средних частот (при предварительной обработке), электронно-полупроводниковые, индукторные, широкодиапазонные транзисторные генераторы повышенных и высоких частот (при чистовой обработке). Напряжение на электродах 8—50 В, длительность импульса $0,5 \cdot 10^{-4}$ — 10^{-2} с, скважность импульсов 1—5, мощность генератора до 60 кВт.

В табл. IX.3.2 приведена сравнительная обрабатываемость металлов и сплавов электроимпульсным способом. За единицу принята обрабатываемость стали 45.

Таблица IX.3.2

Обрабатываемый материал (катод)	Обрабатываемость
Твердый сплав ВК8	0,14—0,15
Серый чугун СЧ 15—32	0,6—1
Сталь 45	1
Конструкционные и инструментальные стали (сталь 15, У8А, 5ХНВ, ХВГ)	1—1,1
Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т	1,2—1,3
Магнитный сплав	1,3—1,5
Жаропрочные сплавы:	
ХН77ТЮ (ЭИ437А)	1,4—1,7
ХН70ВМТЮ (ЭИ617)	1,3—1,5
ЖС6	1,5—2
Алюминий	1,5—1,7

Шероховатость поверхности стальной заготовки, обработанной электроимпульсным способом с помощью машинных генераторов типа МГИ, на чистовых режимах соответствует 3—4-му классам. Обработка на мягких режимах широкодиапазонного транзисторного генератора импульсов дает

Rz 20	2,5	1,25	0,63
шероховатость	$\sqrt{}$	$\sqrt{}$	$\sqrt{}$
	0,63	0,32	

(ШГИ-63-440); $\sqrt{}$ — $\sqrt{}$ (ШГИ-40-440) и $\sqrt{}$ — $\sqrt{}$ (ШГИ-16-880).

Глубина измененного слоя при электроимпульсной обработке на частоте 400 имп/с и среднем токе 5—100 А составляет для углеродистых сталей 0,1—0,2 мм, для штамповой стали 5ХНВ 0,07—0,15 мм, для жаропрочных сплавов 0,05—0,1 мм.

Максимальная производительность при электроимпульсной обработке стали до 25 000 мм³/мин. Износ углеграфитированного электрода-инструмента при обработке стали на частоте 400 имп/с составляет 0,5—2%, медного электрода-инструмента 8—20% и алюминиевого 15—20%. Износ указанных электродов-инструментов на чистовых режимах (66 и 100 кГц) генератора ШГИ значительно увеличивается.

Электроимпульсную обработку применяют при прошивании отверстий различных размеров, обработке поверхностей сложного объемного профиля. Например, дают эффект операции изготовления и восстановления ковочных штампов и пресс-форм, прошивания соединительных каналов между отверстиями в корпусах, щелях и др.

Электроконтактный способ. Обработка осуществляется в воздушной среде (иногда для охлаждения в зону обработки вводится вода). Один из электродов вращается, в результате чего происходит механическое генерирование знакопеременных импульсов. Источник питания — понижающий трансформатор мощностью от десятков до сотен киловатт, напряжение на электродах до 50 В, длительность импульса 10^{-3} — 10^{-2} с.

При электроконтактной обработке на грубых режимах глубина измененного слоя для жаропрочных сплавов на никелевой основе 0,1—0,6 мм, для нержавеющей стали 0,05—0,2 мм, для углеродистой стали 0,9—3 мм. Чистовые режимы электроконтактной обработки обеспечивают получение

поверхностей шероховатостью $\sqrt{}$.

Максимальная производительность обработки достигает 1 000 000 мм³/мин. Износ вращающегося электрода-инструмента 1—2%.

Способ применяется для обдирки перед прокатом слитков из специальных сталей, зачистки стальной и чугуна, предварительной обработки фасонных поверхностей, опиловки шарикоподшипников, разрезки деталей и т. д. В отрасли указанный способ применяется весьма ограниченно.

Анодно-механический способ основан на комбинированном использовании электроэрозионного и электрохимического (анодное растворение) процессов. Обработка осуществляется в водном растворе жидкого стекла при вращении электрода-инструмента, который подключается на прямую полярность. Источник питания — выпрямитель постоянного тока напряжением 22—30 В, мощностью

до нескольких десятков киловатт. Длительность импульса 10^{-5} — 10^{-3} с.

Шероховатость поверхности после анодно-механической обработки до $\sqrt{}$ — $\sqrt{}$ при резке и до 1,25 0,63 $\sqrt{}$ при шлифовании; глубина измененного слоя стальных деталей после анодно-механической разрезки на высокопроизводительных режимах достигает 0,1—0,3 мм; максимальная производительность — 3500—4000 мм³/мин при шлифовании и до 50 см²/мин при разрезке; износ электрода-инструмента — 15—25%.

Анодно-механический способ в основном применяется при отрезных работах.

На заводах отрасли электроэрозионная обработка применяется при

- калибровке профиля пера лопаток;
- прошивании щелей в охлаждаемых лопатках;
- прошивании щелей шириной 0,5 мм в деталях фильтров и фасонных окон цилиндров топливной и масляной аппаратуры;
- обработке соединительных каналов в корпусах гидроаппаратуры;
- прошивании фасонных пазов в кольцах сопловых и направляющих аппаратов, конусах распылителей и других деталях (где радиус закругления не меньше 0,2 мм);
- прошивании отверстий диаметром 0,4—2,0 мм в трубках коллекторов и в деталях камер сгорания;
- выполнении контрольных отверстий диаметром 0,8—3 мм;
- разрезании проволочным электродом направляющих аппаратов (ширина паза не менее 0,3 мм);
- перфорации (диаметр 1—3 мм) листов из жаропрочного и титанового сплавов;
- прошивании пазов в сотовых уплотнителях;
- обработке рабочих колес газовых турбин;
- изготовлении и восстановлении ковочных штампов.

СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Основной схемой формообразования при электроискровой и электроимпульсной обработке является схема обработки поверхностей при прямолинейном поступательном движении электрода-инструмента (или заготовки) по принципу прошивания с объемным копированием формы электрода. По этой схеме работают копировально-прошивочные электроэрозионные станки. Параметры серийно выпускаемых и осваиваемых универсальных станков этого класса приведены ниже.

По указанной схеме формообразования работает ряд специальных электроискровых станков для прошивания отверстий диаметром менее 1 мм в форсунках и других деталях. Эта схема положена в основу при разработке специального станка для десятиконтурной прошивки одновременно большого количества отверстий в охлаждаемых лопатках (модель СЭП-100), а также станка для десятиконтурной прошивки отверстий в листах звукопоглощающих конструкций (модель СЭП-200М).

	МА4720У	4Г721М	4Д722В	4Е723	4Е724	4726
Максимальная высота обрабатываемой детали, мм	80	100	200	380	500	700
Максимальная масса обрабатываемой детали, кг	—	—	70	200	1200	—
Размер стола, мм	125×200	200×360	400×630	400×630	800×1120	1250×2000
Максимальная производительность по стали, мм ³ /мин	70	250	500	4000	7000	10 000
Шероховатость обработанной поверхности на чистовых режимах	0,63 0,32 √ — √	2,5 1,25 √ — √	2,5 1,25 √ — √	Rz 20 2,5 √ — √	Rz 20 2,5 √ — √	Rz 40 Rz 20 √ — √
Точность обработки, мм:						
сквозного отверстия	0,03—0,04	0,02	0,015—0,02	0,02—0,03	—	—
фасонной поверхности	0,08	0,05	0,07	0,07—0,1	0,15—0,2	0,5—0,8

Опытные образцы указанных моделей станков в настоящее время проходят производственные испытания.

Другой распространенной схемой формообразования при электроэрозионной обработке является обработка с помощью проволочного электрода. Электродная проволока-инструмент при этом непрерывно обновляется, перематываясь с одного барабана на другой, а заготовка (или каретка с электродной проволокой) перемещается по заданному контуру. В результате заготовка разрезается. По этой схеме работают электроискровые вырезные станки (изготовитель Кирово-Вятский завод прецизионных станков). Серийно выпускаемые станки этого класса имеют следующие параметры:

	4531	4531П	4532
Максимальные размеры, мм:			
обрабатываемой детали	160×120×30	160×120×30	320×20×60
обрабатываемого контура	120×85	120×85	200×200
Точность обработки, мм	0,01—0,015	0,01—0,015	0,02—0,03
Система управления	Копировальное устройство ЧПУ		

На указанных станках можно производить вырезку в деталях из стали с производительностью 10 мм²/мин при шероховатости обработанной поверхности √ — √. Новые генераторы импульсов (осваиваемые в производстве) позволят повысить производительность вырезных работ до 35 мм²/мин.

Другие схемы электроискрового и электроимпульсного формообразования (например, электроэрозионное шлифование, обработка по принципу обкатки детали инструментом и т. п.) не получили распространения в отрасли.

Анодно-механическая обработка применяется преимущественно при разрезке деталей. Серийно выпускаемые анодно-механические отрезные ленточные станки (изготовитель Троицкий станкостроительный завод) имеют следующие параметры:

	4850	4860
Максимальный диаметр разрезаемой заготовки, мм	400	630
Ширина реза, мм	2	2—3

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА И ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ

Особенности электроэрозионных методов обработки следует учитывать как при проектировании деталей нового изделия, так и при разработке технологического процесса их изготовления.

Эти особенности следующие:

— незначительное влияние твердости и вязкости материала на обрабатываемость;

— возможность обработки сложнофасонных поверхностей при простой кинематике технологической схемы;

— возможность получения отверстий с криволинейной осью;

— отсутствие концентрированного силового воздействия на деталь в процессе электроэрозионной обработки, что позволяет обрабатывать нежесткие детали;

— отличие номинальных размеров получаемого отверстия от номинальных размеров инструмента;

— образование конусности на инструменте и в прошиваемых им отверстиях;

— значительное снижение производительности, начиная с глубины, соответствующей 5—6 диаметрам (особенно при прошивке отверстий диаметром менее 1 мм);

— невозможность получения острых кромок в вершинах углов, в глубоких отверстиях и на наружных поверхностях; минимальный радиус 0,1 мм, получаемый на мягких режимах, увеличивается до 0,4 мм на жестких;

— более интенсивный износ инструмента, по сравнению с режущим, особенно при чистовых режимах обработки;

— наличие структурных изменений поверхностного слоя в процессе электроэрозионной обработки, что приводит к снижению усталостной прочности детали до 40%. Удаление указанного слоя восстанавливает прочностные характеристики детали.

Приведенные особенности метода, а также опыт предприятий по электроэрозионной обработке позволяют сформулировать рекомендации, которые следует учитывать при конструировании деталей:

— конфигурацию и размеры выемок, углублений, щелей и отверстий в деталях проектировать по возможности унифицированными;

— по возможности не применять биметаллических материалов, так как обработка отверстий или щелей в них электроэрозионным методом за-

труднена, поскольку каждый материал требует определенных режимов, что ведет к усложнению конструкции электрода-инструмента;

— глубина отверстий и щелей при диаметре и ширине менее 1 мм не должна превышать 5—6 диаметров; можно проектировать отверстия ступенчатыми в целях соблюдения указанного условия;

— для уменьшения конусности сквозного отверстия необходимо предусмотреть возможность его калибровки, заключающуюся в продолжении обработки после вскрытия отверстия до момента выхода электрода на величину 1,5—2 толщин прошиваемой стенки;

— радиус сопряжения поверхностей следует задавать не менее 0,1 мм;

— оси выемок, углублений, щелей и отверстий, запроектированных в детали, должны быть параллельными (для возможности одновременной их обработки);

— на дне глухих отверстий, выемок, углублений предусматривать выступы диаметром 1—2 мм и высотой 1,5—2 мм (следы от недоснятого металла в местах отверстий в инструменте для прокачки рабочей жидкости).

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА

Главным технико-экономическим показателем внедрения электроэрозионного способа может быть один из следующих:

— невозможность получения соответствующих поверхностей механической обработкой (отверстие с криволинейной осью, соединительный канал между двумя соседними отверстиями в детали и др.);

— плохая обрабатываемость механическим способом твердых и сверхтвердых материалов;

— снижение трудоемкости при обработке сложнофасонных поверхностей;

— механизация трудоемких ручных работ;

— повышение качества обработанных деталей (например, при сверлении отверстий, особенно в вязких материалах, на выходе сверла образуются заусенцы, что исключено при электроэрозионной обработке; то же наблюдается при механической обработке нежестких конструкций);

— снижение брака;

— снижение себестоимости изготовления деталей за счет сокращения расходов на инструмент (например, при обработке отверстий диаметром менее 1 мм в твердых материалах);

— уменьшение численности и снижение квалификации персонала, обслуживающего производственный участок, за счет многостаночного обслуживания электроэрозионных станков (как правило, работающих в полуавтоматическом цикле);

— сокращение числа операций и переходов;

— сокращение продолжительности цикла обработки (например, при электроэрозионном восстановлении кованых штампов отпадает необходимость отпуска и последующей закалки штампа, что значительно снижает общую продолжительность цикла обработки).

Для оценки эффективности применения метода в каждом конкретном случае необходимо сравнить все основные условия проведения старого и нового процессов (учесть серийность изделия, загрузку станков и т. п.). Только положительный результат технико-экономического расчета может служить основанием для разработки нового технологического процесса и последующего внедрения его.

Глава 4. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

СУЩНОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА

В основе электрохимического метода размерной обработки (ЭХО) лежит процесс анодного растворения металлов в результате электролиза.

При ЭХО обрабатываемую деталь устанавливают относительно электрода-инструмента с зазором, через который прокачивают электролит. Деталь является анодом, электрод-инструмент — катодом. При прохождении электрического тока по цепи катод — электролит — анод последний под действием тока растворяется, принимая негативную форму электрода-инструмента. Продукты анодного растворения непрерывно удаляются с поверхности анода потоком прокачиваемого электролита и осаждаются в баке в виде шлака.

В процессе обработки на катоде выделяется водород, который из зоны обработки выносится электролитом в бак. Электрод-инструмент сохраняет первоначальную форму и размеры.

Кроме основных видов технологических операций, выполняемых электрохимическим методом (рис. IX.4.1—IX.4.4), этим методом осуществляют

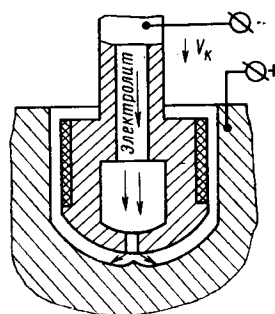


Рис. IX.4.1. Прошивка полостей сложной конфигурации (гравюра штампов, выемки, углубления, колодцы).

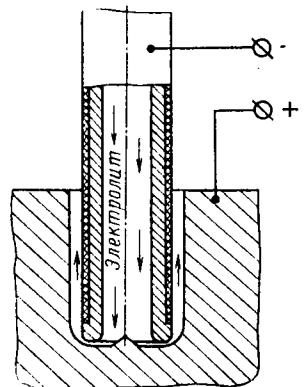


Рис. IX.4.2. Прошивка отверстий и сложнофасонных щелей.

ся точение отверстий и наружных поверхностей тел вращения, обработка неподвижным электродом в целях повышения чистоты поверхности после грубой механической обработки, разрезка заготовок дисковым электродом, маркирование, заточка твердосплавного инструмента.

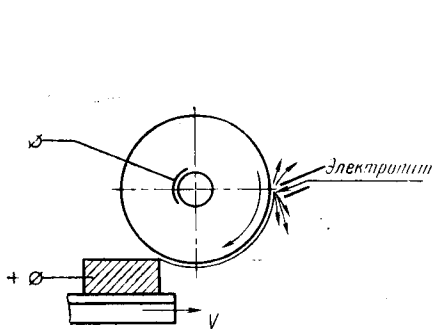


Рис. IX.4.3. Плоское или профильное шлифование.

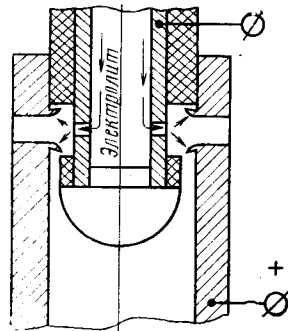


Рис. IX.4.4. Снятие заусенцев, скругление острых кромок.

Технологические показатели при ЭХО приведены в табл. IX.4.1.

Таблица IX.4.1

Операции электрохимической обработки	Скорость обработки, мм/мин	Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789—73, мкм	Класс точности по ГОСТ 6636—60
Прошивание полостей сложной конфигурации, колодцев	0,4—0,8	20 10 Rz √—√ (боковые стенки) 1,25 0,32 √—√ (дно)	5—7
Прошивание отверстий диаметром 1—10 мм и щелей глубиной до 150 мм	2,5—8,0	2,5 0,63 √—√	5—8
Шлифование кругом			
металлическим	3—10	2,5 0,16 √—√	2—3
металлоабразивным	15—50	1,25 0,16 √—√	1—2
Обработка неподвижным электродом	0,3—0,6	20 10 Rz √—√+ 2,5 1,25 Ra √—√	2—5

Основные модели электрохимических станков, рекомендуемые для обработки деталей летательных аппаратов, представлены в табл. IX.4.2.

Таблица IX.4.2

Модель	Наименование и назначение	Габаритные размеры деталей, мм	Максимальное перемещение электрода инструмента, мм	Подача, мм/мин	Класс точности обработки
ЭКУ-150М (ип-ипТУ-630, ИПТУ-1600, ИПТУ-3200)	Вертикально-копировальный станок для прошивки колодцев и отверстий в деталях типа кронштейнов, фитингов и корпусов	150× ×150× ×150	150	0,2—2,4	5—7
ЭКУ-400М	Вертикально-копировальный станок для обработки гравюр штампов, колодцев и отверстий в деталях типа кронштейнов, корпусов	400× ×250× ×250	400	1—10	5—7
ЗЭ70ВФ2	Плоскошлифовальный станок для шлифования фасонных и плоских поверхностей периферией графитного, алмазного и абразивного токопроводящего круга	250× ×50× ×350	—	0,5—500	1—3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭХО И ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ

Одним из основных преимуществ ЭХО перед механическими методами является возможность обработки любых токопроводящих металлов и сплавов, независимо от их твердости, вязкости и других физико-механических свойств. Поэтому для ЭХО рекомендуются высокопрочные, титановые сплавы и стали, обработка которых резанием вызывает определенные трудности. Хорошо обрабатываются электрохимическим методом легированные, нержавеющие стали, цветные сплавы (алюминиевые, бронзы). При выборе марок материала рекомендуется ограничивать их номенклатуру, поскольку разнообразие материалов вызывает необходимость применения различных по химическому составу растворов электролита.

В результате ЭХО в поверхностном слое металла структурных изменений не происходит; микротвердость поверхностного слоя и основного металла одинакова; остаточные напряжения отсутствуют.

Недостатком ЭХО некоторых сплавов и сталей является растравливание обрабатываемой поверхности, главным образом, по границам зерен. Глубина растравливания зависит от режима обработ-

Процесс размерного химического травления (РХТ) широко применяется для повышения равнопрочности, уменьшения массы, сокращения многодетальности тонкостенных конструкций, для доводки заготовок и деталей, изготовленных другими способами, например, штамповкой, литьем, механической обработкой и т. д.

Сущность процесса РХТ заключается во взаимодействии компонентов сплава с травителем по всей обрабатываемой поверхности заготовки. Глубина съема материала зависит от времени контакта заготовки с раствором. Малые скорости съема металла позволяют прекратить процесс в любой момент, то есть обеспечить высокую точность изготовления деталей.

Химическая обработка и доводка деталей эффективно используются для листа, плиты, штампов, отливок и профилей.

Способы снижения массы деталей размерной химической обработкой делятся на технологические и конструктивные.

К технологическим способам относятся:

- а) травление деталей с точностью размеров по ПИ 1.4.277—77;
- б) активный контроль точности изготовления детали в процессе травления;
- в) повышение точности изготовления шаблонов для разметки защитных покрытий;
- г) получение деталей с фактором травления 1;

д) обеспечение химической доводки деталей и полуфабрикатов:

по массе — общее травление в целях снижения массы и обеспечение заданных массовых характеристик;

по точности — уменьшение верхнего поля допуска на отдельных участках детали;

по шероховатости — общее травление в растворах с выравнивающими добавками в целях облагораживания поверхности и снижения шероховатости исходной поверхности;

по размерам — травление деталей для обеспечения размеров, выполнение которых затруднено или невозможно существующими способами обработки.

Химическая доводка может использоваться в качестве подготовительной операции для полуфабрикатов, в том числе для снятия лакирующего слоя и выравнивания толщины полотна; отделочной, финишной операции для деталей, прошедших технологическую обработку.

К конструктивным способам снижения массы деталей относится применение размерного химического травления для

- а) обеспечения равнопрочности узлов и деталей, сокращения количества стыков;
- б) получения деталей с переменными и минимальными сечениями;
- в) обеспечения заданной массы монолитных деталей.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ РАЗМЕРНЫМ ТРАВЛЕНИЕМ

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При выборе материала детали под размерное травление необходимо выяснить, допустим ли данный вид обработки с точки зрения коррозионной стойкости.

2. Точность изготовления деталей ухудшается с увеличением глубины и числа зон травления, размеров полуфабрикатов и отношения площадей обрабатываемых участков.

Следует избегать конструкций листовых деталей с соотношением площадей обрабатываемых участков более 10.

3. Контуры травления рекомендуется обозначать

одной линией по границе поверхности, не подвергающейся травлению.

4. Площади травления выделяют штриховыми линиями, сплошной или частичной штриховкой на чертеже или на схеме травления.

При многоступенчатом травлении зоны различных толщин указывают непосредственно в чертеже или выносят в технические условия чертежа с указанием номинального значения оставшейся толщины детали.

5. В технических условиях чертежа следует указывать:

1) деталь черт. № — обрабатывать размерным травлением по инструкции ВИАМ (указать вид

травления: общее, на клин, контурное одностороннее и т. д.);

2) фактор травления (при необходимости);

3) класс точности на оставшуюся толщину детали по ПИ 1.4.277—77;

4) параметры шероховатости поверхности зон травления;

5) допуск на линию или контур травления;

6) если оговаривается радиус зоны перехода, назначить доработку механическим путем.

6. Точность контура травления в плане задается отклонением линии контура от теоретического значения. При необходимости задавать размер ширины ребра B (рис. X.1) или ширины обрабатываемой поверхности A с допуском следует учитывать, что допуск на ширину ребра или ширину обрабатываемой поверхности вдвое больше допуска на линию контура. При отсутствии замкнутых зон травления допуск на линию контура C задавать от базовой поверхности детали.

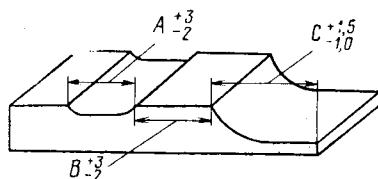


Рис. X.1. Схема размеров контура травления.

7. Для деталей, требующих контроля массы, в чертеже указывать «Доводку деталей по массе производить размерным травлением. Классные отверстия и места заниженных участков изолировать».

8. При двустороннем травлении и толщине листов $S_{исх} = 1 \div 20$ мм величину перемишки по условию прочности принимать $K > 1,40 S_{исх}$ (рис. X.2).

9. Ширину углублений, а также вырезов при размерном травлении принимать не менее трех глубин травления.

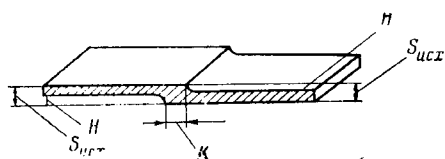


Рис. X.2. Схема размеров при двустороннем травлении.

10. При ступенчатом травлении перепады толщин детали должны быть больше величины поля допуска требуемого класса точности травления.

11. Размеры радиусов в плане рекомендуется выбирать не менее 10 мм, при этом необходимо стремиться к сокращению типоразмеров радиусов и уменьшению их величин.

12. При расчете геометрических форм деталей следует учитывать, что внутренние радиусы увеличиваются, а внешние уменьшаются на величину травливаемого слоя.

13. Предпочтительнее проектировать детали с равными или унифицированными величинами переходов от исходной толщины к оставшейся, что позволит осуществлять групповую обработку.

14. Условия равнопрочности конструкций часто требуют создания элементов переменного сечения

(обшивки, профили, трубы). Такие детали необходимо изготавливать методом травления на клин.

15. Выполнять клин целесообразно методом травления на длине не менее 10 мм с глубиной снятия с одной стороны до 2 мм. Рекомендуется применять клин с двусторонним снятием металла.

16. Травление на клин можно применять также для получения прокладок под профили вместо подсечек. Такие прокладки позволяют увеличить жесткость и прочность конструкции.

17. Для конструкций, требующих высокой усталостной прочности, задавать фактор травления менее трех нецелесообразно.

18. Граница травления утолщений под заклепки должна располагаться от оси отверстия на расстоянии не менее 2,5 диаметров заклепки.

19. Герметичные отсеки необходимо изготавливать из обшивок, обработанных размерным травлением, с утолщением по местам крепления всех элементов каркаса, окантовки под люки — из основного материала обшивки. Клепаные окантовки снижают усталостную прочность герметичных отсеков. Размер утолщений в местах вырезов обшивок не должен быть меньше соответствующей толщины окантовки.

20. Критическое напряжение от потери устойчивости в обшивках, обработанных размерным травлением, повышают путем разделения окон диагональными или прямоугольными перемишками на более мелкие.

Диагональные жесткости, образующие окна треугольной формы с кольцевыми центральными утолщениями, целесообразны для деталей, работающих в условиях акустических нагрузок.

21. Для прессованных профилей рекомендуется либо доводка по массе путем стравливания имеющегося припуска, либо травление на клин или контурное с облегчением стенок, присоединяемых к более тонким деталям.

22. При травлении штамповки или гнутого профиля не рекомендуется располагать зону травления в местахгиба или нагартовки при штамповке, это вызывает резкое повышение шероховатости поверхности. Для устранения указанного недостатка рекомендуется применять раствор № 5 (табл. X.1).

23. При выборе вида термической обработки деталей перед травлением необходимо учитывать следующее:

— шероховатость поверхности деталей из сплава В95 не меняется при различных видах термообработки;

— шероховатость поверхности листовых деталей из сплава Д20 после травления в отожженном состоянии — до $Rz\ 20$ мкм;

— шероховатость поверхности листовых деталей из сплава Д19 в свежезакаленном, а также в закаленном и состаренном состояниях — до $Ra\ 2,5$ мкм;

— детали из прессованных профилей сплава Д19 в отожженном состоянии при травлении в чисто-щелочном растворе или в растворе с добавками имеют шероховатость поверхности до $Rz\ 20$ мкм,

— детали из сплава АК4-1 в состаренном состоянии имеют шероховатость после травления до $Ra\ 2$ мкм; в свежезакаленном состоянии шероховатость поверхности увеличивается;

Таблица X.1

Номер раствора	Содержание компонентов раствора, г/л	Накопление алюминия в растворе, г/л	Температура раствора, °С	Ориентировочная скорость травления, мм/ч
1	Едкий натр 120—200 (общ.)	5—70	70—95	2,0—0,6
2	Едкий натр 250—300 (общ.)	70—110	70—95	3,0—1,5
3	Тиосульфат натрия 25—30 Персульфат аммония 15—18 Фтористый калий 6—8 Едкий натр (общ.) 150—250 Тиосульфат натрия 20—25 Сульфид натрия 0,1—1,0 Сульфат натрия 0,1—1,0 Нитрат натрия 0,1—1,0 Пирофосфат натрия 0,1—1,0 Глицерин 0,1—1,0	0—100	70—95	3,0—1,5
4	Едкий натр (общ.) 150—200 Триэтанолламин 20—30 Тиомочевина 5—10	5—70	70—95	2,0—0,6
5	Едкий натр (своб.) 160—200 Триэтанолламин 11—67 Сера 1,0—18	4—94	90—110	4,5—0,4

— детали из плит сплава 1201 рекомендуется травить в состоянии Т1, так как шероховатость поверхности ниже, чем в состоянии Т;

— отжиг деталей из сплава АМг-6 практически не изменяет шероховатость поверхности;

— детали из стали ВНС-2 в нормализованном состоянии имеют шероховатость поверхности после травления на 1—2 класса выше исходной;

— детали из стали 30ХГСА подвергаются травлению до термической обработки;

— листовые детали из титановых сплавов после травления в отожженном состоянии не изменяют шероховатость поверхности.

24. Методом общего травления рекомендуется производить доводку пружины (рессор) по заданным характеристикам жесткости.

Примечания:

1. Пружины после травления выдерживают при 200—300°С в течение 3 ч.

2. Пружины, термообрабатываемые после травления, выдержке не подвергают.

Допускается производить доводку пружин всех видов (сжатия, растяжения, пластинчатых и т. д.).

25. Коробление деталей при глубоком травлении может быть уменьшено путем использования предварительной растяжки и термообработки в криогенных средах, а также путем изменения характера или величины предварительного формообразования таким образом, чтобы после размерного травления размер детали приблизился к заданному теоретическому.

РАЗМЕРНОЕ ТРАВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ, ТИТАНОВЫХ, МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ, СТАЛЕЙ

Для обработки деталей из алюминиевых сплавов применяют растворы на основе едкого натра (см. табл. X.1); детали из титановых, магниевых сплавов и сталей обрабатывают растворами на основе неорганических кислот.

Обрабатываемые размерным травлением марки сплавов и полуфабрикаты представлены в табл. X.2., X.3.

Перечень способов химической обработки и основные представители обрабатываемых деталей приведены в классификаторе.

Процесс РХТ оснащается нестандартным оборудованием и приспособлениями. Контакт травящего раствора с деталью осуществляется при погружении детали в ванну с раствором или путем набрызгивания раствора на деталь.

Металл с заготовок удаляют общим травлением (без применения защитных покрытий), травлением на клин, контурным травлением с определенными факторами травления и скоростью съема металла.

Таблица X

Марка сплава	Полуфабрикаты							Состояние термообработки
	листы (плакир., неплакир.)	плиты	трубы	поковки	штамповки	прессованные па- ли	профили	
Д16	+	+	+			+	+	Т, Т1
В95	+	+		+	+	+	+	Т1, Т2, Т3
АК4-1	+	+		+	+	+	+	Т, Т1
1201	+	+				+		Т, Т1
01420	+	+				+		Т, Т1
Д19	+	+					+	Т, Т1
Д20	+							Т
АМг	+		+					—
АМц	+		+					М

Процесс размерного травления осуществляется по следующей схеме:

- предварительная подготовка поверхности;
- нанесение защитного покрытия;
- разметка зон травления;
- удаление покрытия с мест, подлежащих травлению;

Классификатор деталей, обрабатываемых размерным химическим травлением

Размерное химическое травление	Группа	Подгруппа	Вид	Листовые детали			Монолитные детали				Детали из труб		Детали из профилей																		
				криволинейные		плоские	криволинейные		прямо-линейные	поковки, штамповки, литые	прямалинейные	криволинейные	прямалинейные	криволинейные																	
				однорядные	двухрядные		однорядные	двухрядные																							
															экзистентное	не экзистентное															
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое		
																														кантовое	кантовое
	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое															
																	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое
	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое															
																	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое
	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое															
																	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																
																кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	
																															кантовое
кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое	кантовое																

Таблица X. 3

Марка сплава	Поставка									Состояние термооб- работки	Рекомендуемые составы растворов и режимы травления
	лист	плита	пруток	балка	труба	поковка	штамп.	профиль	отливка		
Титановые сплавы											
BT1-00	+									Отожжен- ное	Растворы травления, мл/л: 1. HF ($d=1,13$) — 190—140; H ₂ SO ₄ ($d=1,84$) — 55—60; $t=18\div 27^\circ\text{C}$; скорость травления 0,8—0,6 мм/ч. 2. HNO ₃ — 450—500; HF — 200—350; $t=18\div 27^\circ\text{C}$; Раствор облагораживания, мл/л: HNO ₃ ($d=1,4$) — 600—750; HF ($d=1,13$) — 180—220; t не выше 30 °C; время 3—10 мин. Растворы для удаления окисной пленки — по инструкции ВИАМ 736—66
BT1-0	+										
BT4	+						+				
OT4	+						+	+			
BT3-1	+		+			+	+	+			
BT5-1	+										
BT6C	+						+				
BT14	+						+	+			
BT6	+						+				
BT16	+							+			
BT20	+	+									
BT22	+										
BT23	+	+					+				
Магниевые сплавы											
МА-2	+						+	+			1. H ₂ SO ₄ ($d=1,84$) — 5—19%; ингибитор П6 — 5—5—8 г/л 2. H ₂ SO ₄ ($d=1,84$) — 15—20%; ингибитор Б300 — 8—12 г/л 3. H ₂ SO ₄ ($d=1,84$) — 15—20%; глицерин — 300—450 г/л; $t=18\div 25^\circ\text{C}$; скорость съема металла 1,35—3,5 мм/ч
МА-8	+	+					+	+			
BM65-1	+	+					+	+			
ВМД-3	+						+	+			
МЛ-5									+		
МЛ-10									+		
Стали											
X15H5Д2Т (ЭП410, ВНС-2)	+						+			Закаленное или норма- лизованное	1. HCl ($d=1,17$ —1,19) — 410—425 мл/л; HNO ₃ ($d=1,38$ —1,4) — 410—425 мл/л; H ₂ SO ₄ ($d=1,83$ —1,84) — 90—70 мл/л; H ₃ PO ₄ ($d=1,69$ —1,7) — 90—80; $t=20\div 32^\circ\text{C}$; скорость травления 0,2—1,1 мм/ч или 2. HCl ($d=1,17$ —1,19) — 140—150 мл/л; HNO ₃ ($d=1,38$ —1,40) — 140—150 мл/л; H ₂ SO ₄ ($d=1,83$ —1,84) — 65—70 мл/л; тропеолин 0001—0,5—1,0 г/л; клей мездровый или костный — 5—10 г/л; вода — до 1 л; $t=43\div 55^\circ\text{C}$; скорость травления 0,3—1,2 мм/ч. Примечания: 1. Знаком + обозначены полуфаб- рикатy, ранее обрабатываемые раз- мерным травлением. 2. В растворе № 1 обрабатывают- ся стали всех перечисленных марок, в растворе № 2—стали марок ВНС 2, СН-4.
X20H6МД2Т (ЭП310, ВНС-4)	+										
X17H5М3 (ЭП925, СН-3)	+										
X15H7ЮМ2 (ЭП35, СН-4)	+							+			
07X16H6 (ЭП288, СН-2А)											
ВНС-17											
12X18H9Т	+										
12X18H10Т	+										
ВНЛ-2/3									+		

- травление;
- сушка;
- контроль качества обработки и глубины травления;
- удаление защитного покрытия.

Шероховатость поверхности деталей из алюминиевых сплавов при обработке РХТ в каждом растворе зависит от химического состава сплава, состояния термообработки, от исходной шероховатости и глубины травления.

Листовые полуфабрикаты, как правило, во всех растворах имеют шероховатость поверхности после травления $Rz\ 10\text{--}20$ мкм, штампованные, прессованные заготовки и детали из плит — от $Rz\ 20$ мкм до $Rz\ 80$ мкм.

Фактор травления зависит от применяемого защитного покрытия, предварительной подготовки поверхности, химического состава сплава, наличия лакирующего слоя и состава раствора.

Величина фактора травления изменяется от 1 до 5.

Шероховатость поверхности деталей из титановых, магниевых сплавов МА-8, МА-2, ВМ65-1, ВМДЗ и сталей не снижается по сравнению с исходной. Шероховатость поверхности магниевых отливок из сплава МЛ-5 повышается с $Rz\ 160$ мкм до $Rz\ 40\text{--}20$ мкм.

При размерном травлении листы и плоские детали рекомендуется располагать в горизонтальном положении травящейся поверхностью вверх или периодически кантовать при вертикальном травлении в целях организации неустановившихся течений у поверхности травления.

В процессе химического размерного травления деталей из титановых сплавов на поверхности травления образуется наводороженный слой глубиной $20\text{--}25$ мк, для удаления которого применяется облагораживающая обработка в растворе № 1 или вакуумный отжиг.

ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Точность деталей, получаемых размерным травлением, зависит от точности и вида поставки исходного материала, режима травления (концентрации кислоты, щелочи, металла, температуры), положения деталей в процессе травления, организационных факторов (культура производства, квалификация работников).

Допуски на геометрические размеры деталей представлены в производственной инструкции ПИ 1.4.277—77. Основным размером, характеризующим поле допуска, является глубина травления $H_{тр}$, определяемая как разность исходной и оставшейся толщин. За базу отсчета условно принимается поверхность, не подлежащая травлению.

Предельные значения допусков на оставшуюся толщину применяются:

5-й класс — для ответственных деталей из листового проката;

7-й класс — для деталей из листового профиля, прессованных панелей.

Допуски на клиновидную деталь даются по минимальному размеру на оставшийся материал по заданному классу точности травления.

Точность выполнения контуров при размерном травлении зависит от способа подготовки поверхности детали перед нанесением защитного покрытия, точности шаблона и разметки, состава покрытия, режима травления, анизотропности свойств обрабатываемой поверхности, положения детали в ванне травления.

Допуски на линию контура находятся в пределах от $+1,0$ до $+4,0$ в зависимости от глубины и фактора травления.

Точность деталей, подвергаемых химической доводке после механической обработки, составляет $+0,1$ мм при точности механической обработки $+0,2$ мм, а для деталей, имеющих размеры менее $+0,3$ мм, — $-0,1$ мм, — $-0,2$ мм.

КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ

Готовые детали после размерного химического травления следует проверять: по контуру — шаблоном, штангенциркулем, линейкой и т. д., по глубине травления или толщине остаточного сечения — измерительной скобой с индикатором часового типа, микрометром, приборами-толщиномерами с помощью электромагнитных преобразователей.

Основные средства измерения толщины сечения деталей приведены в табл. X.4.

Контроль шероховатости поверхности деталей, изготовленных размерным химическим травлением, осуществляют приборами-профилографами.

Для контроля шероховатости разрешается применять рабочие образцы шероховатости и образцы, выполненные методом размерного травления для каждой марки сплава.

Таблица X.4.

Модель прибора	Диапазон измеряемых толщин, мм	Тип датчика	Погрешность измерения, %	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Питание
Толщиномер ТФМ-4	0,5—6,0	Накладной	1,5	215×108×75	1,6	Напряжение 220 В, частота 50 Гц; от 4 батарей КБС-Л
ПКСМ	0—10,0	»	3	160×235×82	2,1	Напряжение 220 В, частота 50 Гц
Толщиномер ТФА-У	0—10,0	Комплект накладных датчиков	1,5	330×226×160	6,5	8 батарей «Марс»
Скоба измерительная	0—20,0	—	±0,005	В зависимости от габаритов детали		—

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА РАЗМЕРНОГО ТРАВЛЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

Размерное химическое травление повышает до 50% усталостную прочность плакированных листов из алюминиевых сплавов. Фактор травления 1 по условию прочности целесообразно применять для листов с плакирующим слоем и отверстиями для крепежа, фактор травления 3 — для листов без плакировки и отверстием для крепежа. Эффект влияния концентраторов напряжения типа плакирующего слоя, шероховатости поверхности, отверстий и фактора травления увеличивается по мере увеличения базового числа циклов до разрушения.

У панелей и прессованных профилей из алюминиевых сплавов в результате травления прочность или не снижается, или снижается незначительно (5—7%) по сравнению с механообработкой, однако результаты испытаний показывают меньший разброс данных, что свидетельствует о лучшей стабильности свойств химически травленых образцов.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА

Экономическая эффективность процесса размерного травления не вызывает сомнения в случае обработки деталей сложной формы и малой жесткости, так как изготовление их другими методами невозможно.

Применение процессов механической обработки вместо размерного травления встречается в практике редко, сравнить их можно, принимая условно, что деталь взята плоской и жесткость ее достаточна для обработки на станках.

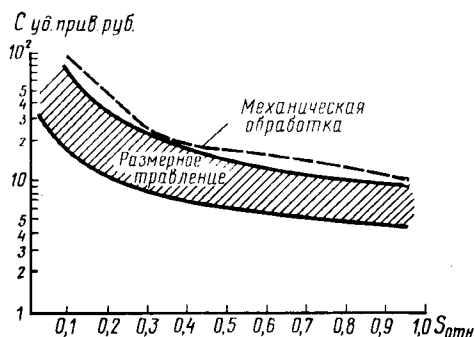


Рис. X.3. Зависимость удельных затрат от соотношения обрабатываемых площадей.

Такое сравнение показывает, что для глубин обработки до 0,8 мм затраты на снятие 1 кг металла в два раза больше при механической обработке, чем при размерном травлении, а для глубины от 0,8 до 2,0 мм — в 1,5 раза (рис. X.3).

Стоимость изготовления детали линейно зависит от ее площади и может быть выражена зависимостью

$$C_{\text{тех}} = C_0 S_{\text{дет}},$$

где $C_{\text{тех}}$ — технологическая себестоимость;
 C_0 — стоимость обработки 1 м² поверхности;
 $S_{\text{дет}}$ — площадь детали.

Процесс размерного травления предназначен для снижения массы деталей конструкции, поэтому величина удельных затрат, отнесенных к массе снятого металла, является важнейшей. Она может быть описана зависимостью

$$C_{\text{уд}} = a_0 S_{\text{отн}},$$

где $C_{\text{уд}}$ — удельные приведенные затраты на 1 кг снятого материала;

$S_{\text{отн}}$ — отношение площади травления детали к площади всей детали;

a_0 — коэффициент.

Структура затрат на проведение процесса следующая, %:

основные материалы — 60;

зарплата производственных рабочих — 11;

защитные покрытия и органические растворители — 17;

травящие растворы — 3;

потери от брака — 5;

прочие затраты — 4.

Предприятия применяют различные защитные покрытия, травящие растворы; кроме того, участки имеют нестандартное оборудование и оснащение.

Это приводит к существенным различиям в затратах на размерное травление.

В ближайшее время следует ожидать снижения затрат на выполнение процесса размерного травления на 15—20%, которое произойдет в результате совершенствования технологии изготовления вспомогательных материалов, а также механизации и автоматизации.

Внедрение технологических процессов регенерации травящих растворов способствует удешевлению процесса размерного травления в связи с экономией дефицитного едкого натра в среднем на 25—40 руб. с каждого кубического метра травящего раствора, а также сохранению окружающей среды и водоемов от засорения агрессивными веществами.

ДЕЙСТВУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ Инструкции ВИАМ

ПИ 1.2.097—78. Размерное травление алюминиевых сплавов, 1979.

№ 1045—75. Размерное травление (химическое фрезерование) коррозионностойких сплавов.

№ 265—72. Анодное оксидирование алюминиевых сплавов.

№ 1003—72. Химическое и анодное оксидирование труб и химическое оксидирование деталей.

Технологические рекомендации ВИАМ

ТР 1.2.063—78. Размерное травление алюминиевых сплавов в растворе едкого натра с выравнивающими добавками, 1978.

ТР 1.4.726—80. Размерное травление деталей из алюминиевых сплавов в растворе 2020, 1980.

ТР 5.1234. Размерное травление алюминиевого сплава 01420, 1979.

ТР 5-790. Размерное травление (химическое фрезерование) титановых сплавов, 1969.

ТР 9-134. Глубокое травление (химическое фрезерование) магниевых сплавов МЛ-5, МА-2, 1970.

ТР 5-793. Размерное травление сплава ВМД-3, 1970.

Руководящие технические материалы НИИАТ

ПИ 1.4.277—77. Точность изготовления деталей из алюминиевых, титановых сплавов и стали методом размерного травления, 1979.

ОСТ 1.51596—73÷ОСТ 1.51609—73. Приспособления для химического травления деталей из алюминиевых сплавов.

РТМ-1400. Общее размерное травление магниевых сплавов, 1974.

РТМ 1.4.573—79. Регенерация щелочных растворов размерного травления алюминиевых сплавов, 1979.

Термическая обработка в современном самолетостроении является одной из основных операций, обеспечивающих надежность и ресурс изделия в целом.

Основные задачи термической обработки — обеспечение заданных физико-механических свойств деталей и узлов, сохранение геометрии высокой точности или придание новой формы, сохранение без изменений поверхностного слоя и минимального уровня напряжений на узле.

Для решения этих задач необходимо выбрать оптимальный материал для детали или узла на стадии проектирования летательного аппарата, рациональную конструкцию детали или узла, обеспечивающую возможность создания прогрессивной технологии термической обработки, рациональную заготовку (литье, лист, сварка, штамповка); разработать прогрессивную технологию изготовления высокоточной детали или узла.

Создание высокоресурсных широкофюзеляжных машин типа Ил-86, обладающих большой грузоподъемностью, поставило конструкторов перед необходимостью выдерживать жесткие массовые лимитные характеристики, что, в свою очередь, приводит к ликвидации большого количества механических перестыковок и разработке крупногабаритных листосварных, штампосварных элементов каркаса и обшивки фюзеляжа, крыла и хвостового оперения.

Жесткие лимитные характеристики требуют применения упрочняемых материалов высокой удельной прочности для элементов каркаса и обшивки.

МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Специфика проектирования и строительства современных летательных аппаратов требует от конструктора особого внимания при выборе материалов. Кроме требований обеспечения заданных физико-механических свойств, необходимо учитывать и технологичность материала (минимальное изменение размеров при термической обработке, возможность осуществления правки, минимальную склонность к трещинообразованию, сопротивление газовой коррозии и т. д.).

В целях снижения трудоемкости и повышения технологичности изделия номенклатуру применяемых материалов следует сокращать.

Для обеспечения высокой эксплуатационной надежности агрегата и его элементов, изготовленных сваркой, за счет повышения малоцикловой выносливости путем снижения уровня остаточных напряжений необходимо полностью исключить статическую и ударную правку в холодном состоянии, резко снижающую эти характеристики.

Процессы упрочнения крупногабаритных сварных узлов, изготовленных из листа, профиля, штамповок и механически обработанных элементов, практически не имеющих припусков и выходящих на теоретический обвод, должны обеспечивать неизменный слой на поверхности.

В связи с этим в области термической обработки широкое развитие должны получить процессы вакуумной и аргоно-вакуумной обработки, совмещенные с термокалибровкой и формообразованием.

Широкое внедрение упомянутых процессов может сдерживаться отсутствием гаммы специализированного вакуумного и аргоно-вакуумного оборудования и необходимостью переоснащения термических цехов заводов отрасли.

С созданием каждого нового изделия увеличивается количество деталей и узлов, подвергающихся термической обработке, следовательно, возрастает средний процент трудоемкости термической обработки от общей трудоемкости изготовления летательного аппарата. За последнее десятилетие трудоемкость термических работ возросла с 3 до 6,5%.

В современном самолетостроении применяются, в основном, цветные сплавы, конструкционные и нержавеющие стали.

Цветные сплавы могут быть разделены на две группы: упрочняемые термообработкой и не упрочняемые термообработкой (подвергающиеся только смягчающему виду термообработки — отжигу).

Стали представлены двумя группами: конструкционные и нержавеющие. Группа конструкционных сталей содержит четыре подгруппы: нормализуемые, улучшаемые, цементируемые, азотируемые.

Нержавеющие стали имеют две подгруппы: не упрочняемые термообработкой и упрочняемые термообработкой.

В табл. XI.1 дан перечень основных марок материалов, рекомендованных ВИАМ для самолетостроения.

Таблица XI.1

Группа материала		Подгруппа материала	Марка материала
Цветные сплавы	алюминиевые	Не упрочняемые термобработкой	АМг, АМц
		Упрочняемые термобработкой	Д1, Д16, Д18, 01420, АК4-1, Д19, АК6, В95, В93, ВАД-23, АВ, АЛ9, АЛ19
	магниевые	Не упрочняемые термобработкой	МА8, МА2
		Упрочняемые термобработкой	МЛ5, МЛ15, МЛ10, МА12
	медные	Не упрочняемые термобработкой	М2, М3, Л62
		Упрочняемые термобработкой	БрБ2, БрАЖМц10-3-1,5, БрАЖН10-4-4
	титановые	Не упрочняемые термобработкой	ОТ4, ОТ4-1, ВТ5Л, ВТ15, ВТ20, ВТ3, ВТ3-1
		Упрочняемые термобработкой	ВТ14, ВТ16, ВТ22, ВТ23
	конструкционные	Нормализуемые	15, 20, 25
		Улучшаемые	45, 38ХА, 16ХСН, 25ХГСА, 30ХГСА, 50ХФА, 60С2А, 30ХГСНА, 40ХНМА, 30ХГСМА, 30ХГСН2В (ВЛ1), ВНЛ2, 40ХН2СВА (ЭИ643), 26Х2ГСНВМБР (КВК-26), 32Х2ГСНВМБР (КВК-32), 37Х2ГСНВМБР (КВК-37), 42Х2ГСНВМБР (КВК-42)
Стали	нержавеющие	Цементируемые	12ХН3А, 12ХН4А, 18ХН4ВА, 1Х17Н2, 14ХГСН2МА (ДИ-3А)
		Азотируемые	38ХМЮА, 30Х2НВФА, 30Х3ВА
		Не упрочняемые термобработкой	Х18Н10Т, Х18Н9Т, Х17Г9АН4 (ЭИ878)
		Упрочняемые термобработкой	1Х13, 2Х13, Х17Н5М3 (СН-3, ЭИ925), Х16Н6 (СН-2А), Х15Н5Д2Т (ВНС-2, ЭП288), ВНС-5, Х12Н22ТЗМР (ЭИ696М)

Таблица XI. 2

Изделие	Скорость, м/с	Кол-во титана в планере, кг	% титана от массы планера
„Бонинг-747“	1	4536	4,25
Як-42	1	—	3,2
Ил-62	1	1280	6,5
Ил-76	1	3600	4,5
Ил-86	1	7900	17,0
Изд. „К“	—	5700	20,0
„Бонинг-2707“	2,7	47 000	90,0
Ту-144	2,5	7000	13,5
VF-12	3	3340	95,0

Увеличение скорости полета приводит к повышению температуры нагрева элементов обшивки до 500—700 °С, что требует применения жаропрочных сплавов с большим сопротивлением ползучести, типа ЖС6, ЭИ435, ЭИ99.

Однако основным конструкционным материалом для планера всех современных летательных машин являются алюминиевые сплавы.

Сравнительный удельный вес металлических материалов, применяемых в строительстве современных летательных аппаратов, приведен в табл. XI.3.

Таблица XI. 3

Материал	Удельный вес, %, металлических материалов в машинах					
	Ил-86	Як-42	В-747	ДС-10	101	А-300В
Алюминиевые сплавы	54	87	68	65	67	69
Стали	14	8	10	12	—	—
Титановые сплавы	15	3,2	4,25	3,12	—	—
Остальные металлы	7	1,8	17,75	17,88	—	—

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТЕРМООБРАБОТКИ

Назначение того или иного вида термической обработки определяется маркой материала, сложностью конфигурации детали, требованиями к физико-механическим свойствам. Теплофизические параметры режимов термической обработки устанавливаются инструкциями ВИАМ.

Процессы термической обработки в современном самолетостроении можно разделить на три боль-

Увеличение скорости полета, аэродинамический нагрев элементов планера изменяют требования к составу применяемых материалов.

Как видно из табл. XI.2, при повышении скорости полета существенно увеличивается объем применяемых сплавов на основе титана.

шие группы: смягчающая, упрочняющая, химико-термическая.

Смягчающая термообработка применяется для обеспечения

— физико-механических свойств деталей или узлов в соответствии с чертежом;

— определенных технологических свойств обрабатываемых заготовок (хорошей штампуемости, обрабатываемости резанием и т. д.);

— заданных эксплуатационных характеристик (предел выносливости, заданное структурное состояние);

— заданного уровня газонасыщенности детали или узла.

В зависимости от вида заготовки смягчающая термообработка может проводиться либо в окислительной атмосфере обычного печного оборудования, либо в специализированных вакуумных печах или в защитной атмосфере.

Наличие больших припусков на заготовках, поступающих на термообработку, не ставит жестких условий по защите поверхности, заготовка может обрабатываться без защитной атмосферы.

Окончательно изготовленные, облегченные тонкостенные листосварные, штампосварные детали и узлы, особенно элементы каркаса и обшивки планера, должны проходить операции смягчающей термообработки в заневоленном состоянии либо с использованием явлений ползучести.

Проведение смягчающей термообработки на элементах и агрегатах планера, снижающей уровень остаточных напряжений на 40—80%, позволяет повысить ресурс на ~20%, так как исключается операция ручной правки и доводки, вызывающая местный наклеп.

Точность, обеспечиваемая смягчающей термообработкой в заневоленном состоянии (термокалибровка), составляет ~0,4 мм/м для обшивочных элементов, выходящих на теоретический обвод.

Упрочняющая термообработка предназначена для придания деталям окончательных физико-механических свойств в соответствии с требованиями чертежа.

Упрочняющая термообработка осуществляется двумя способами:

— закалка + отпуск;

— изотермическая закалка.

Нагрев деталей и узлов под закалку в зависимости от материала, степени механической обработки, требований к чистоте поверхности может осуществляться в вакууме, в окислительной и защитной атмосфере.

Закалка тонкостенных клеесварных конструкций, изготовленных из материалов, требующих высоких геометрических точностей и не требующих повышенных скоростей охлаждения, может быть совмещена с формообразованием.

Процесс отпуска, так же как и процесс нагрева под закалку, может производиться в защитной атмосфере, в вакууме и окислительной среде.

Высокий отпуск (температура 500—680 °C) может быть использован для термокалибровки, исправляющей дефект закалки — коробление. Низкий отпуск (температура до 250 °C) проводится в целях получения мартенсита отпуска и уменьшения остаточных напряжений.

Для деталей из конструкционных сталей применяется изотермическая закалка. Этот вид обработки, по сравнению с обычной закалкой и отпуском, позволяет повысить конструктивную прочность, ударную вязкость, кроме того, обеспечивает получение минимального коробления деталей.

Химико-термическая обработка — процесс, сочетающий термическое и химическое воздействие в целях изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали.

Химико-термической обработке подвергаются детали из конструкционных сталей и титановых сплавов.

В качестве веществ, используемых для насыщения поверхностных слоев стальных изделий, используются углерод, азот, кремний, хром, бор и т. д. В зависимости от насыщающих веществ процессы химико-термической обработки делятся на две группы:

— диффузионное насыщение поверхностного слоя неметаллами;

— диффузионное насыщение поверхностного слоя металлами.

Иногда при химико-термической обработке насыщение поверхности осуществляется двумя и более веществами, например углеродом и азотом (цианирование), углеродом, серой и азотом (сульфонирование).

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛЯМ И УЗЛАМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ПОДВЕРГАЮЩИМСЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

В процессе термической обработки вследствие структурных превращений и неравномерности состояния объема металла возникают внутренние напряжения, способствующие деформации изделия, изменению его формы и геометрических размеров.

В процессе термообработки наблюдаются:

— деформации, вызванные изменением удельных объемов при фазовых превращениях (с примерным сохранением подобия и формы);

— деформации, вызванные тепловыми, структурными напряжениями (коробление детали, неравномерное изменение формы, угловые смещения одних частей относительно других и т. д.).

Обычно на детали сложной формы одновременно воздействуют оба вида деформаций.

Первый вид деформаций проявляется в случае мартенситного превращения за счет увеличения объема увеличением линейных размеров с сохранением подобия формы детали, в случае аустенитного превращения — за счет уменьшения объема уменьшением линейных размеров.

Если деталь правильной симметричной формы, точно изготовлена, не имеет разностенности после полного цикла термообработки (закалка + старение), должно сохраняться подобие формы и почти полностью размер.

Например, в деталях из стали ВНС-5 усадка при нормализации (закалка на твердый раствор) составляет 0,5% (5 мм на 1 м). При обработке холодом увеличение размеров составит 0,3% (3 мм на

1 м), а при старении усадка 0,12% (1,2 мм на 1 м). Таким образом, после завершения полного цикла при отсутствии деформации второго вида размеры должны почти полностью возвратиться к исходным.

Второй вид деформации (коробление) связан с изменением напряженного состояния в процессе нагрева, выдержки и охлаждения. Внутренние напряжения, возникающие в стали перед закалкой, могут привести к короблению деталей в процессе нагрева под закалку, а остаточные напряжения после закалки — к короблению при нагреве под отпуск. Очень часто к появлению внутренних напряжений и последующему короблению приводит холодная правка — операция вредная и очень трудоемкая.

Таким образом, основными причинами коробления деталей и узлов при термообработке являются: напряжения, возникающие вследствие термического расширения и сжатия, фазовых превращений, изменения объема при изменении химического состава поверхности (обезуглероживание, химико-термическая обработка); снижение предела прочности и предела текучести при высоких температурах и действие напряжений, обусловленных массой детали; релаксация остаточных напряжений.

Эти факторы действуют тем интенсивнее, чем сложнее детали, чем больше разница отношений поверхности к объему отдельных сопрягаемых элементов детали.

Идеальной для термической обработки является такая форма детали, в которой каждая точка любого сечения или поверхности получает или отдает при нагревании или охлаждении одинаковое количество тепла с одинаковой скоростью.

Создание конструкции деталей и узлов подобных форм для современных летательных аппаратов практически невозможно, так как стремление к снижению массы приводит к созданию деталей равнопрочных или близких к ним. Следствием этого является создание конструктивных элементов ажурных, несимметричных, обладающих большим градиентом толщин в одном сечении, большим количеством всякого рода облегчений, выполненных в виде карманов и колодцев, и поэтому нетехнологичных с точки зрения термической обработки.

При проектировании деталей и узлов современных летательных аппаратов, подвергающихся термической обработке, в целях повышения их технологичности, необходимо учитывать следующие общие требования:

1. Выбирать материал для изготовления деталей и узлов, учитывая необходимость получения не только заданных физико-механических требований, определяемых эксплуатационными требованиями, но и технологических свойств, обеспечивающих проведение термических операций с минимальной деформацией, получение чистой поверхности при высоких температурах без специальных защитных мер. Не допускать необоснованно завышенных требований по физико-механическим свойствам.

2. Не допускать излишнего ужесточения допусков на коробление, так как это удорожает и осложняет термическую обработку.

3. Использовать простейшие геометрические формы деталей, что значительно облегчает термическую обработку и позволяет нормализовать процессы, оснастку и оборудование.

4. Не допускать резких переходов от толстых сечений к тонким, что приводит к концентрации напряжений в местах перехода, а при термической обработке — к деформации и образованию трещин.

5. Шире применять унифицированные и нормализованные детали и узлы; стремиться к унификации материалов, их механических свойств, глубины слоя при химико-термической обработке.

6. При проектировании крупногабаритных деталей и узлов учитывать размеры рабочего пространства, термического оборудования согласно типу.

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

По конструктивно-технологическим признакам, определяющим характер и сложность технологического процесса, детали, узлы и агрегаты, подвергающиеся термической обработке, могут быть разделены на шесть групп.

Первая группа — детали простой геометрической формы и небольших размеров, не склонные к короблению (валики, втулки, бруски, шайбы и т. д.). Как правило, длина этих деталей не превышает трех толщин материала. Детали этой группы проходят термообработку по одному и тому же технологическому процессу, различаются они лишь температурой нагрева и временем выдержки. Однотипность технологических процессов обработки деталей позволяет механизировать и автоматизировать эти процессы и с максимальной загрузкой использовать термическое оборудование.

Вторая группа — детали средней сложности и средних размеров с разными сечениями типа шестерен, кронштейнов, барабанов и т. д. Размеры деталей значительно превышают толщину материала. Эти детали в большинстве случаев проходят термообработку по различным технологическим процессам. Для предупреждения деформации и трещинообразования необходимо детали этой группы изготавливать из легированных сталей, закаливающих в масле, горячих средах или на воздухе.

Третья группа — детали сложной конфигурации с относительно небольшими габаритными размерами (500 мм) типа больших шестерен, литых деталей из стали и легких сплавов (седла, рамы и т. д.).

Четвертая группа — детали, узлы и элементы, изготавливаемые методами листовой штамповки, гибки, прокатки, обтяжки. Узлы, изготовленные методами механической обработки и различными видами сварки.

В новых конструкциях самолетов применяются длинномерные (2000×10 000 и 3500×20 000 мм) обшивки и панели двойной кривизны, изготовленные обтяжкой в свежезакаленном состоянии.

При термической обработке деталей указанной группы, вследствие малой жесткости и склонности к короблению, необходимо применять специальную

оснастку, обеспечивающую возможность совмещения термической обработки и калибровочных операций. Для таких деталей необходимо разрабатывать индивидуальные технологические процессы.

Для нагрева и закалки этих деталей целесообразно применять специальные агрегаты, позволяющие механизировать и автоматизировать процесс термической обработки.

Пятая группа — силовые детали из сталей разных марок и цветных сплавов типа лонжеронов, балок и других элементов силовых наборов, фюзеляжных и крыльевых узлов крепления крыла к фюзеляжу, силовых узлов шасси и т. д.

В основном это детали сложной конфигурации, большой длины (до 20 000 мм), небольшого и переменного сечения, с резкими переходами от тонких сечений к толстым. Термообработка их представляет большие трудности, так как они склонны к сильному короблению. Поэтому требуется разработка специального технологического процесса на каждую деталь.

Шестая группа — крупногабаритные сварные объемные элементы конструкции или агрегаты и под сборки из окончательно механически изготовленных элементов либо из отформованных листовых прессованных и штампованных или листосварных элементов, не имеющих припусков. Цель термической обработки этих агрегатов — обезводороживание, снижение уровня остаточных напряжений.

Термическая обработка деталей и узлов первой, второй и третьей групп не представляет сложности и осуществляется на универсальном оборудовании. Четвертая, пятая и шестая группы деталей и узлов требуют разработки индивидуальной технологии термической обработки, которая определяет возможность создания летательного аппарата.

Для этих групп деталей, узлов и агрегатов необходимо создать специализированное оборудование в соответствии с разработанным НИАТ типажом.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ТИПОВЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

Рассмотрим детали и узлы четвертой группы. Разработка и создание новых конструкций летательных аппаратов предъявляют новые требования к технологии изготовления деталей, узлов и агрегатов.

Если в определенный период для получения заданных физико-механических свойств требовалось создать новые материалы, то в настоящее время в связи с усложнением конструкции и более жесткими требованиями по массовой отдаче решающее значение имеет технология изготовления детали или узла.

Рациональность технологического процесса, его эффективность и стабильность в значительной степени зависят от места расположения упрочняющих операций в общем технологическом цикле изготовления детали или узла. Надежность и ресурс детали или узла зависят не только от параметров термической обработки, но и от предыдущих опера-

ций, определяющих уровень остаточных напряжений после формообразования, сварки, механической обработки и т. д.

Прочностные характеристики, главным образом конструктивная прочность, зависят от характера распределения и уровня остаточных напряжений. Облагороживание заготовки, введение рациональной заготовки приводят к снижению припусков и перемещению операций термической обработки в конец технологического цикла.

Термическая обработка деталей с минимальными припусками требует проведения правки, в результате чего возникают напряжения, приводящие к образованию скрытых дефектов и снижению ресурса.

Разработка новых процессов, совмещающих формообразование и исправление коробления при режимах термической обработки, позволит получить детали и узлы, в которых уровень остаточных напряжений сведен к минимуму за счет релаксационных явлений, эффекта кинетической пластичности и других факторов.

В современных широкофюзеляжных машинах в качестве основного материала планера применяются алюминиевые сплавы. Детали каркаса, обшивки фюзеляжа, верхние и нижние панели крыла — узлы, требующие разработки индивидуальной технологии и специального оборудования.

В первых модификациях широкофюзеляжных машин применялись листы и панели размерами 2000×7200 мм, в последующих — 2500×10 000 мм, затем 2500×20 000 мм.

В табл. XI.4 приведена классификация процессов термообработки, совмещенных с формообразованием или сохранением заданной формы.

Первый класс включает способы исправления коробления и повышения точности (придание новой формы), основанные на заневоливании детали или узла в холодном состоянии в области упругих деформаций, обеспечивающих заданную точность и релаксации заданных упругих напряжений заневоливания (без изменения формы детали или узла) в процессе операций термической обработки. Все способы этого класса позволяют исправить коробление, возникающее в процессе операций, предшествующих термической обработке.

Наиболее целесообразно указанные способы применять для процессов отжига, отпуска, старения.

Второй класс включает способы повышения точности (придания новой формы), основанные на приложении в холодную постоянную усилия, не изменяющего форму, и использовании явлений ползучести в процессе термической обработки.

Третий класс включает способы исправления коробления и повышения точности или придания новой формы детали или узлу, основанные на кратковременном, как правило, ударном приложении усилия в состоянии максимальной, аномальной пластичности, изменяющего форму детали или узла в процессе термической обработки.

Способы этого класса позволяют исправить коробление или придать новую форму при совмещении операций листовой штамповки, например, с закалкой.

Таблица XI. 4

Класс	Физическая сущность процесса	Изменение прилагаемого усилия		Место за-неволивания в технологическом цикле	Изменение формы		Длительность воздействия усилия в процессе термообработки
		при заневоливании	при нагреве		при заневоливании	при нагреве	
I	Релаксация заданных упругих напряжений за счет снижения $\sigma_{0,2}$ и частичной реализации эффекта кинетич. пластичности	Постоянно	Изменяется	В холодную	Изменяется	Постоянна	В течение всего цикла
II	Реализация явлений ползучести при постоянной нагрузке и сверхпластичности	Постоянно	Постоянно	В холодную	Постоянна	Изменяется	В течение всего цикла
III	Реализация явлений сверхпластичности	—	Постоянно	В горячую	—	Постоянна	Кратковрем. в момент фазовых превращений
		Постоянно	—	В холодную	Постоянна	Изменяется	В течение всего цикла

Особое место занимают детали и узлы обшивки двойной кривизны (рис. XI.1), которые проходят формообразование обтяжкой в свежезакаленном состоянии.

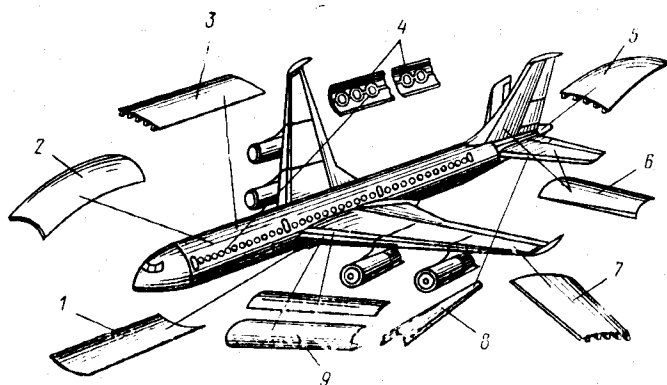


Рис. XI.1. Панели двойной кривизны фюзеляжа и крыла самолета.

Другой метод формообразования деталей и узлов двойной кривизны осуществляется при совмещении пластической деформации с отжигом, старением (см. табл. XI.4, II кл.). Этим способом придают детали новую форму с заданной точностью; операцией, ответственной за точность теоретического обвода, является термообработка.

Для осуществления подобных операций ГИПРОНИИАвиапромом по техническому заданию НИАТ и ММЗ «Опыт» разработаны специализированные агрегаты типа ПЭС-20, ПЭС-30, позволяющие осуществить формообразование, совмещенное со старением деталей и узлов типа панелей крыла и фюзеляжа одного из изделий из алюминиевых сплавов АК4-1 и В95Н4.

В новых конструкциях самолетов широко применяются обшивки одинарной и двойной кривизны из сплавов на основе титана. Например, крупногабаритные панели хвоста (рис. XI.2) одного из

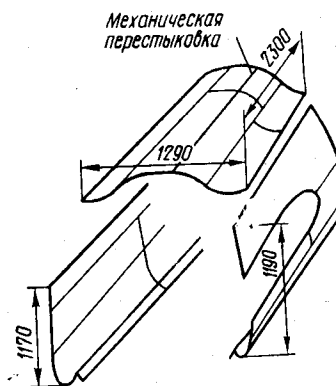


Рис. XI.2. Панели хвоста из сплава ВТ22.

изделий изготовлены из титанового сплава ВТ20. В связи с тем, что холодное формообразование обшивок двойной кривизны практически невозможно осуществить на крупногабаритных деталях, после сварки панели хвоста подвергаются отжигу, сов-

мещенному с термокалибровкой. При этом температура термокалибровки выбирается такой, чтобы, с одной стороны, обеспечить достаточную пластичность и точность геометрических размеров, с другой, — чтобы не было сублимации элементов и вакуумного растравливания, снижающего выносливость. Поэтому разработанные технологические процессы должны осуществляться либо в вакууме, либо в вакууме, разбавленном аргоном. Для осуществления этих процессов НИАТ разработана серия вакуумных печей типа УВН.

Термокалибровка деталей двойной кривизны осуществляется на специальной оснастке по схеме пуансон — матрица в режимах ползучести.

Другой способ термокалибровки, совмещенной с вакуумным отжигом, заключается в предварительном заневоливании детали или узла и релаксации заданных упругих напряжений в процессе отжига (см. табл. XI.4, I кл.).

Неполный и полный отжиг трубопроводов из титановых сплавов ОТ4-1, ВТ1-0, Ст. 7 (рис. XI.3) осуществляются в том же оборудовании в вакуумном или аргоно-вакуумном варианте.

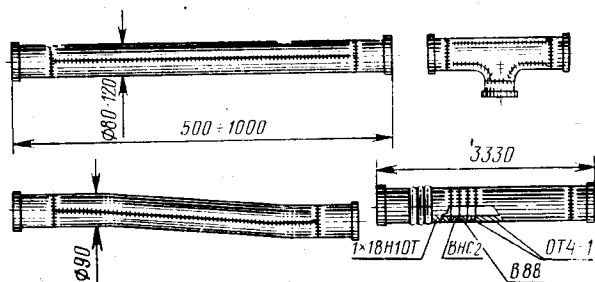


Рис. XI.3. Трубопроводы из титановых сплавов ОТ4-1, ВТ1-0.

Стальные элементы жесткости типа гофрированных панелей из листовой стали ВНС-3 (рис. XI.4) получены методом штамповки в режиме сверхпластичности на падающих молотах при температуре закалки (см. табл. XI.4, III кл.).

На рис. XI.4 показана деталь, формообразование которой осуществлено в холодную.

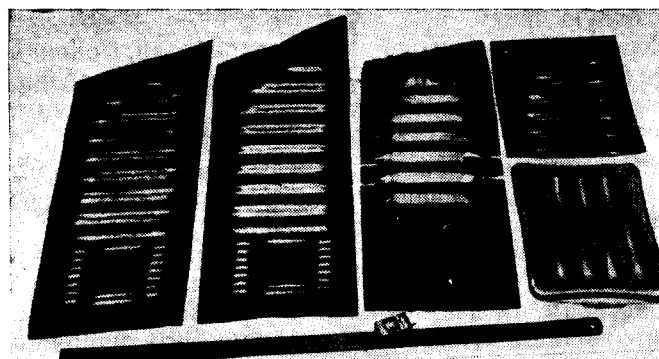


Рис. XI.4. Стальные гофрированные панели из листовой стали ВНС-2.

К пятой группе относятся силовые элементы, подвергающиеся термической обработке либо в виде деталей, окончательно изготовленных из

облагороженных штамповок, прессованных профилей, либо в виде сварных узлов и подборок, изготовленных из отдельных штамповок различного развеса. Силовые узлы и подборы могут изготавливаться из алюминиевых сплавов, сплавов на основе титана, из улучшаемых и высокопрочных сталей и сплавов.

Типовой представитель деталей 5-й группы — балка длиной 1,5 м, изготовленная из штамповки из стали ВНС-5. Окончательно механически обработанная деталь поступает на термообработку. Закалка осуществляется в шахтном агрегате в вертикальном положении. В карманы-колодцы для выравнивания сечения закладываются экраны. Наличие разгрузочных отверстий в полотне карманов исключает возникновение хлопнунов при нагреве и охлаждении. После закалки осуществляется обработка холодом.

Коробление, возникающее при закалке, может быть частично исправлено путем заневоливания и использования релаксации заданных упругих напряжений в момент кинетической пластичности, возникающей в результате мартенситного превращения при обработке холодом (см. табл. XI.4, I кл.), после полного цикла термообработки геометрические размеры обрабатываемой детали должны вернуться к исходным. Другим характерным представителем деталей этой группы являются детали узла поворота, изготовленные из стали ВНС-2. На рис. XI.5 показана фюзеляжная панель узла поворота, которая также имеет глубокие карманы-колодцы и поступает на термообработку в облагороженном виде. В этом случае также, как и для балки, требуется выравнивание сечения, вертикальное положение при нагреве, обеспечивающее полное отсутствие хлопнунов и деформации.

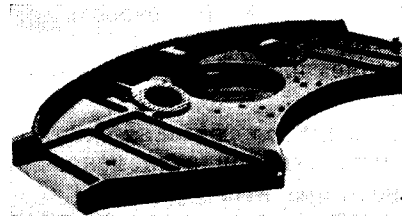


Рис. XI.5. Фюзеляжная панель узла поворота.

Охлаждение при закалке столь сложных деталей в воде демонстрирует не совсем удачный выбор материала с точки зрения технологии термической обработки. При резком охлаждении неизбежно коробление, требующее последующей холодной правки.

Крупногабаритные стальные детали, проходящие закалку в жидкие среды, не могут быть заневолены, а следовательно, не может быть обеспечена высокая точность при проведении операции закалки. Температура отпуска или старения, как правило, недостаточна для релаксации заданных упругих напряжений. Поэтому процессы I, II и III кл. (см. табл. XI.4) для подобных деталей не пригодны и после термообработки требуется холодная правка.

В подобных случаях для силовых элементов желательно использовать воздушнозакаливаемые стали или материал, обладающий пониженными скоростями закалки.

Представителями сварных узлов являются детали шасси из высокопрочного титанового сплава BT22, изготовленные сваркой из штамповок различного качества (рис. XI.6).

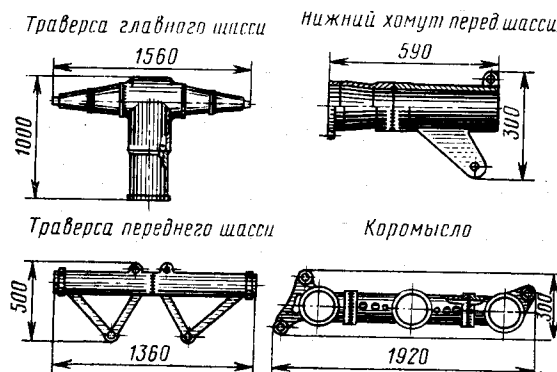


Рис. XI.6. Сварные титановые узлы шасси.

Сложный узел, окончательно изготовленный из штамповок с различными физико-механическими свойствами (штамповки перед сваркой в узел не комплектуются по физико-механическим свойствам), поступает на упрочняющую термическую обработку, целью которой является:

- обеспечение идентичных заданных физико-механических свойств на всех исходных заготовках узла;
- снятие сварочных напряжений;
- аннигиляция или облагораживание фрагментированной α -фазы в околошовной зоне;
- сохранение заданной точности окончательно изготовленных узлов;
- обеспечение чистоты обезгаженной поверхности.

Оптимальная технологическая схема термической обработки состоит из ряда элементов.

Повышение температуры до 680°C осуществляется по заданной программе в глубоком вакууме ($P=5 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.). В этом интервале при глубоком вакууме сублимация не интенсивна, поэтому исключено вакуумное растравливание и снижение выносливости обрабатываемого узла.

Дальнейшее повышение температуры (с 680 до 830°C) осуществляется в вакууме ($P=1 \cdot 10^{-2} \div 1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.), полученном напуском аргона.

Снижение вакуума необходимо для подавления процессов сублимации с детали, нагревателей и экранов. Скорость нагрева при этом снижается до $90^\circ\text{C}/\text{мин}$. Выдержка при первой ступени осуществляется при этом же давлении.

По окончании выдержки температура садки снижается по программе со скоростью $2\text{--}4^\circ\text{C}/\text{мин}$ ($240^\circ\text{C}/\text{ч}$) до 750°C . В конце выдержки осуществляется глубокое вакуумирование (до $P=5 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.) и заполнение аргоном (до $0,95$ атм). При этом осуществляется интенсивная циркуляция аргона и подача в теплообменник печи холодной воды.

На этой стадии обеспечивается скорость охлаждения садки $4\text{--}7^\circ\text{C}/\text{мин}$ до температуры старения $550\text{--}600^\circ\text{C}$. Старение при $500\text{--}600^\circ\text{C}$ осуществляется при глубоком вакууме ($P=5 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.). Охлаждение с температуры закалки ($750\text{--}780^\circ\text{C}$) до температуры старения ($500\text{--}600^\circ\text{C}$) является определяющим элементом технологии.

Регулирование скорости охлаждения осуществляется охлаждением в вакууме ($4^\circ\text{C}/\text{мин}$), охлаждением в аргоне ($5^\circ\text{C}/\text{мин}$), охлаждением с последовательным заполнением печи аргоном и принудительной его циркуляцией ($6^\circ\text{C}/\text{мин}$).

В зависимости от скорости охлаждения с температуры закалки и режима последующего старения можно получить различный уровень механических свойств сплавов.

Ступенчатая термообработка со скоростями охлаждения $3,5\text{--}4,2^\circ\text{C}/\text{мин}$ может осуществляться по этому же циклу на установках УВН-1500 и на печах УНКЗ-2М с контейнерными установками КТШЗ-750М.

На печах УНКЗ-2М с установками КТШЗ-750М обработка осуществляется в застойной атмосфере аргона. Контейнерная установка трехкратно вакуумируется и заполняется аргоном до $0,15$ атм при температуре на детали ($50, 100$ и 150°C), способствующей удалению адсорбированной влаги. Дальнейшее повышение температуры осуществляется при поддержании давления аргоном $0,15\text{--}0,30$ ати.

Резкое охлаждение после второй ступени (закалка) обеспечивается подачей свежих порций аргона в контейнер, сжатого воздуха под подину и перемещением тележки с контейнером из печи УНКЗ-2М в камеру охлаждения. Необходимая чистота поверхности обеспечивается специальным экранирующим устройством.

Разработанный технологический процесс вакуумной и аргоно-вакуумной термической обработки позволяет впервые в отечественной и зарубежной практике осуществить упрочнение окончательно механически обработанных, не имеющих припусков деталей, узлов конструкций летательных аппаратов и двигателей из высокопрочных титановых сплавов закритического состава без переноса в закалочную среду.

Кроме упрочняющей термообработки, окончательно механически обработанные и сваренные титановые сплавы должны проходить вакуумный отжиг для снятия остаточных напряжений.

Рассмотрим детали и узлы шестой группы. В связи с усложнением конструкций летательных аппаратов повышение требований по высоко- и низкочастотной выносливости, ресурсу привело к необходимости изыскания резервов по этим характеристикам за счет снижения уровня остаточных напряжений сварки-сборки, сборки под напряжением и т. д. Поэтому возникла необходимость осуществления термической обработки объемных агрегатов. Первая попытка осуществления неполного отжига элевона крыла изд. «144» была проведена на ВАЗ, ММЗ «Опыт» на специально созданном оборудовании. При повышении температуры не допускалось возникновение температурного перепада более 5°C между тонким и массив-

ным сечением. С такой же скоростью проходит охлаждение. Продолжительность отжига подобных агрегатов составляет десятки, а иногда и сотни часов.

На рис. XI.7 показана балка центроплана размером $16\,000 \times 2\,300 \times 1\,600$ мм, изготовленная из сплава ВТ6ч электронно-лучевой сваркой и подвергающаяся последующему отжигу для обезводороживания и снижения уровня остаточных напряжений. Отжиг осуществляется в вакууме, длительность операции 90—100 ч. К этой же группе агрегатов относится и нижняя сварная панель центроплана, изготовленная из сплава ВТ20. Этот агрегат также должен подвергаться вакуумному отжигу.

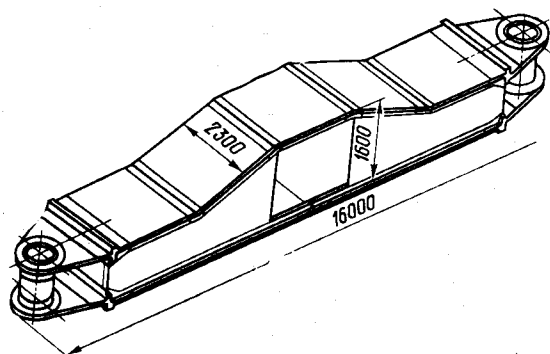


Рис. XI.7. Балка центроплана.

Особое положение занимают агрегаты, типовой представитель которых показан на рис. XI.8. Этот агрегат изготовлен из толстостенного листа сплава ВТ20 электро-лучевой сваркой и должен проходить обезводороживание и полный отжиг. Масса агрегата ~500 кг, термическая обработка его должна проводиться также с соблюдением всех технологических приемов, обеспечивающих минимальное изменение исходных размеров.

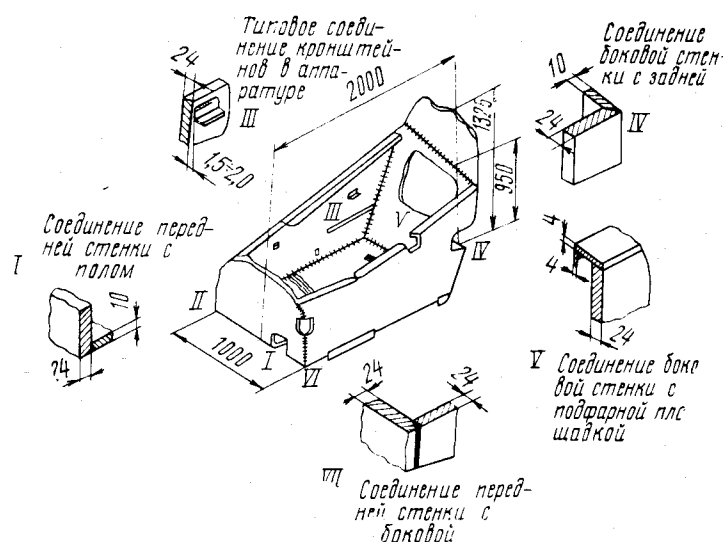


Рис. XI.8. Сварной агрегат из титанового листа.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ, ПОДСБОРОК, АГРЕГАТОВ САМОЛЕТА

Технологические процессы термической обработки, определяющие возможность создания новых летательных аппаратов, связаны с приданием заданных физико-механических свойств уникальным деталям, узлам, агрегатам и подборокам при обеспечении заданной точности и чистой обезгаженной поверхности.

Для осуществления процессов закалки, отжига, отпуска, старения указанных элементов летательных аппаратов для четвертой, пятой и шестой групп применяется специализированное оборудование.

Для первой, второй и третьей групп деталей, как правило, применяется универсальное оборудование.

В табл. XI.5 приведен перечень шахтных агрегатов, предназначенных для комплексной термообработки крупногабаритных деталей и узлов из конструкционных и нержавеющей сталей.

Таблица XI. 5

Модель шахтного агрегата	Основные технические параметры					Изготовители опытного образца, год изготовления
	диаметр садки максимальный, мм	высота садки максимальная, мм	масса садки максимальная, кг	температура нагрева максимальная, °С*	мощность, кВт	
9-4867	800	4000	600	1000	—	РПКО «Электромеханика», СМЗ, 1975
9-3670	1000	4500	750	950	2032	РПКО «Электромеханика»
9-4773	1000	3000	625	1100	700	ММЗ «Кулон», РПКО «Электромеханика»
9-5192	1500	3000	750	1100	—	ДМЗ, СМЗ, 1975
15-2083	1500	5000	2000	1050	2010	ММЗ «Искра», РПКО «Электромеханика»

* Перепад температур $\pm 10^\circ\text{C}$.

САУ обеспечивает управление температурным режимом, загрузкой и выгрузкой садки.

В состав шахтного агрегата входят несколько печей различного назначения, закалочные и промывочные баки.

Количество отдельных видов оборудования и их расположение в агрегате определяются технологией обработки деталей и узлов. Шахтные агрегаты разрабатываются ГИПРОНИИАвиапромом в соответствии с типовым рядом НИАТ и изготавливаются хозяйственным способом заводами-потребителями.

Закладка деталей и узлов, требующих новых шахтных агрегатов, связана с большими затратами материальных ресурсов и времени.

В табл. XI.6 приведены модели вакуумных установок серии УВН для обезводороживания, отжига

Установка УВН-15.45/11 (рис. XI.10) предназначена для отжига, ступенчатой обработки агрегатов и узлов размерами $1500 \times 4500 \times 1000$ мм.

Установки типа УВН-4500 (УВН-45.12,5/9) используются для отжига половины балки центроплана, а установки УВН-4500М (УВН-45.180/9) — для отжига полной балки, установки УВН-25.50/4 — для отжига центроплана, УВН-15.100/9 — для отжига длинномерных трубопроводов.

Все установки могут работать в вакуумном и в аргоно-вакуумном цикле.

Таким образом, установки серии УВН предназначены для обработки титановых крупногабаритных деталей, узлов и объемных подборок пятой и шестой групп.

Для осуществления аргоно-вакуумной упрочняющей ступенчатой термообработки сварных узлов

Таблица XI.6

Модель вакуумной установки	Основные технические параметры					
	диаметр рабочего пространства, мм	длина рабочего пространства, мм	высота рабочего пространства, мм	температура нагрева максимальная, °C	вакуум, мм рт. ст.	стоимость ориентировочная, тыс. руб.
УВН-15.45/8,5 (УВН-1500М)	1600	4500	—	850	$5 \cdot 10^{-5}$	200,0
УВН-15.100/8,5	1670	10 000	—	850	$5 \cdot 10^{-5}$	450,0
УВН-30.60/8,5	4200	9900	—	850	$5 \cdot 10^{-5}$	780,0
УВН-45.120/8,5 (УВН-4500)	4500	12 000	—	850	$1 \cdot 10^{-4}$	—
УВН-45.180/11 (УВН-4500М)	4200	23 000	—	1100	$5 \cdot 10^{-5}$	—
УВН-15.30/7,5	1500	3000	—	750	$5 \cdot 10^{-4}$	94,0
СНВ-5.15.5/9	500	1500	500	900	$1 \cdot 10^{-5}$	—
СНВ-5.10.5/11,5	500	1000	500	1150	$2 \cdot 10^{-5}$	51,0

и упрочняющей термической обработки сварных узлов, подборок и агрегатов из титановых сплавов. Установки УВН, например, УВН-1500 (рис. XI.9), представляют собой камерную печь садочного типа. Вакуум $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст., температура 750—1100 °C.

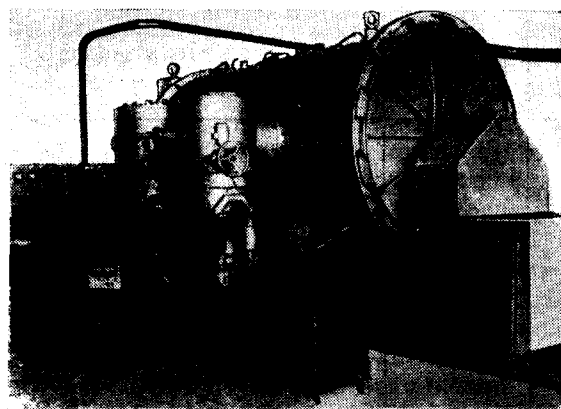


Рис. XI.9. Вакуумная установка УВН-1500.



Рис. XI.10. Вакуумная установка УВН-15.45/11.

средних размеров применяется индукционная муфельная печь УНКЗ-2М с контейнерной установкой КТШЗ-750М и вынесенной камерой охлаждения. Вынесенная камера охлаждения позволяет обслуживать две контейнерные установки КТШЗ-750М из четырех, которыми комплектуются две печи.

В табл. XI.7 приведен типовый ряд электро-термических агрегатов для термической обработки листовых и других деталей из алюминиевых сплавов.

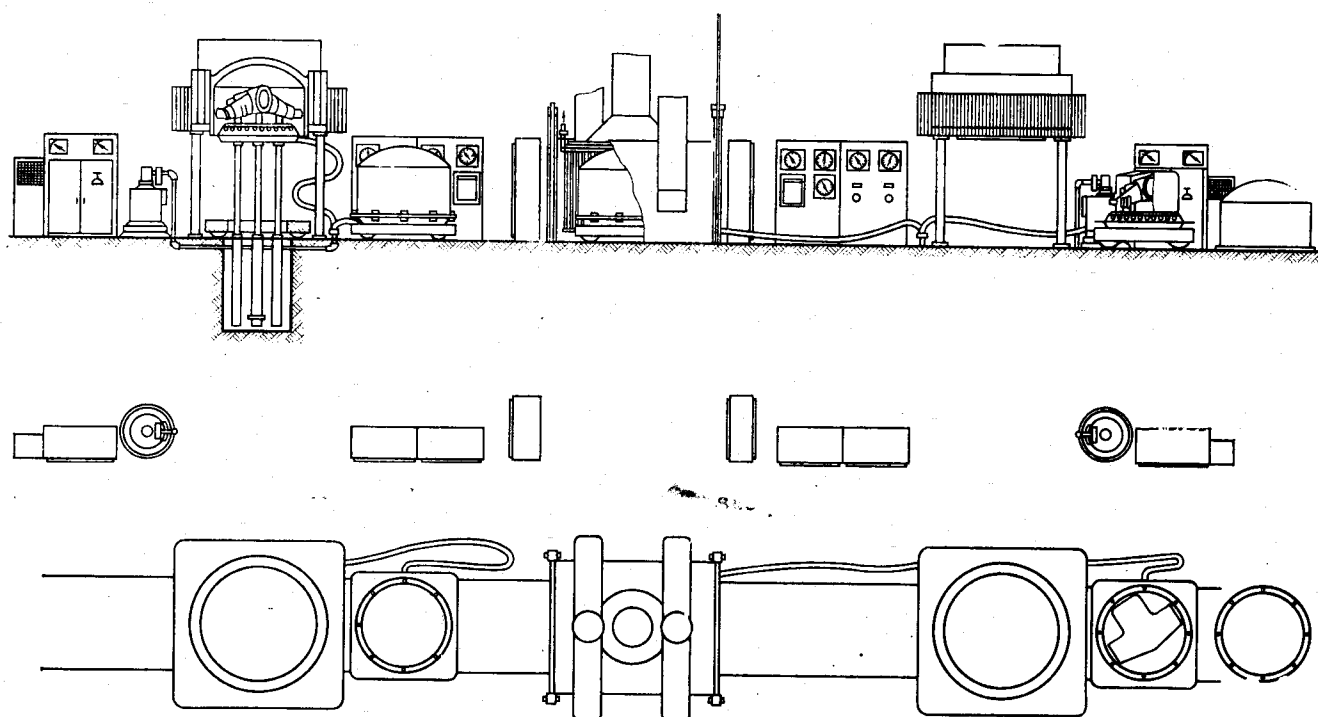


Рис. XI.11. Участок вакуумной термообработки для титановых сплавов.

Таблица XI.7

Установки для закалки и старения крупногабаритных деталей и узлов из алюминиевых сплавов

Наименование оборудования	Модель	Основные технические параметры			Исполнители и ориентировочные сроки исполнения			
		размеры рабочего пространства, мм	максимальная температура нагрева, °C	основные требования к системе ЧПУ и САУ	ТЗ	технической документации	опытного образца	промышленной серии
Рециркуляционный агрегат для термообработки крупногабаритных деталей из алюминиевых сплавов	ЭТА	1500×15 000× ×3500	550±5	САУ должна обеспечивать управление температурным режимом, загрузкой и выгрузкой	НИАТ, КИАЗ, вып.	ГИПРОНИИАвиапром, 1975	Заказчик по кооперации с РПКО «Электро-механика»	
		2500×20 000× ×3500	550±5		НИАТ, 1975	ГИПРОНИИАвиапром, 1976		
		3500×30 000× ×4500	—		То же	То же		
Рециркуляционная нагревательная камерная установка с выдвижным подом для старения крупногабаритных деталей и узлов из алюминиевых сплавов	ПАП-25.150.35/3	2500×15 000× ×2500	300±5	САУ должна обеспечивать управление технологическим процессом	НИАТ, КИАЗ, вып.	ГИПРОНИИАвиапром, 1975	РПКО «Электро-механика», 1976—1977	По мере поступления заказов
	ПАП-30.200.30/3	3000×20 000× ×3000	300±5		НИАТ, 1975	ГИПРОНИИАвиапром, 1976	РПКО «Электро-механика», 1978	То же

Наименование оборудования	Модель	Основные технические параметры			Исполнители и ориентировочные сроки исполнения			
		размеры рабочего пространства, мм	максимальная температура нагрева, °С	основные требования к системе ЧПУ и САУ	ТЗ	технической документации	опытного образца	промышленной серии
Рециркуляционная нагревательная камерная установка с выдвижным подом для старения крупногабаритных деталей и узлов из алюминиевых сплавов	ПАП-47.300.47/3	4700×30 000× ×4700	300±5	САУ должна обеспечивать управление технологическим процессом	То же	ГИПРОНИИ, 1977 Авиапром,	То же	1979

Максимальная рабочая температура $550 \pm 5^\circ\text{C}$. Нагревательная часть агрегата устанавливается на колоннах над уровнем пола, а под нагревательной частью расположен закалочный бак. При таком расположении обеспечиваются максимальные скорости переноса деталей в закалочную ванну.

Агрегаты типа ЭТА предназначены для отжига и закалки, агрегаты типа ПАП — для старения (рис. XI.12, XI.13). Повторная термообработка на машиностроительном предприятии вызвана необходимостью осуществления формообразования элементов двойной кривизны обтяжкой.

В зависимости от толщины полуфабриката закалочный бак заполняется закалочной жидкостью определенного состава. В качестве типовых представителей, обрабатываемых в агрегатах ЭТА, ПАП, ПЭС, могут быть приведены обшивки широкофюзеляжных машин (группа IV).

Приведенный перечень специализированного оборудования предназначен, как уже указывалось,

лишь для термической обработки деталей, узлов и подборок IV, V, VI групп и поэтому не может претендовать на полноту.

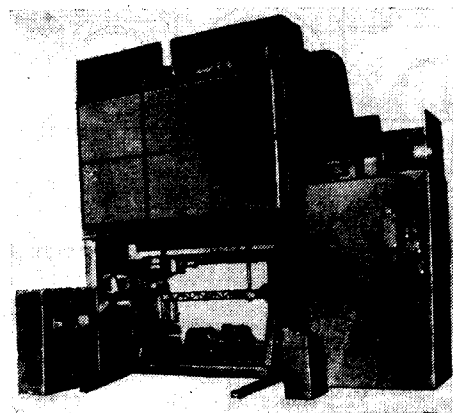


Рис. XI.13. Агрегат типа ПАП-30.

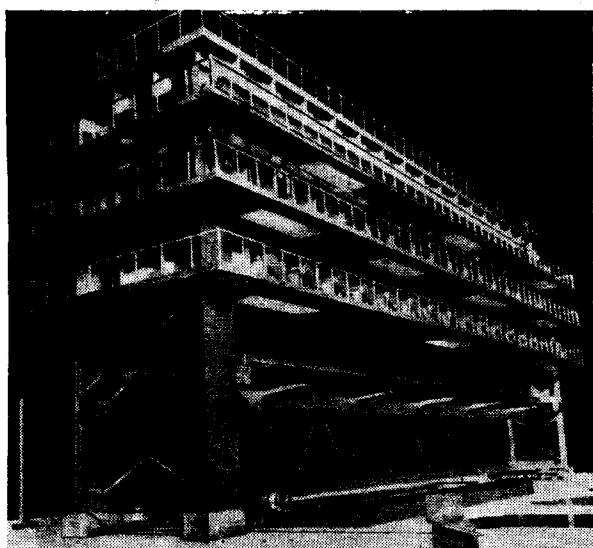


Рис. XI.12. Агрегат ЭТА-30.

При оснащении производства под новое изделие необходимо учитывать потребность в универсальном оборудовании, выпускаемом электропромышленностью. Полный перечень термического оборудования приведен в отраслевом типаже.

ЛИТЕРАТУРА

Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. НИАТ, 1972.

Применение титановых сплавов. Часть I, II. ОНТИ, 1968.

Спектор Я. И., Петровичев Н. П. и др. Уменьшение коробления крупногабаритных деталей из новых высокопрочных сталей при термической обработке. — «Авиационная промышленность», 1964, № 11.

Термическая обработка деталей и полуфабрикатов из титановых сплавов. Инструкция ВИАМ, № 685—62.

Термическая обработка полуфабрикатов и деталей из алюминия и алюминиевых деформируемых сплавов. Инструкция ВИАМ, № 904—67.

Сыцов А. С., Вильнер Н. М. и др. Термическая обработка сварных узлов шасси тяжелых машин. — «Авиационная промышленность», 1975, № 7.

Органическое стекло благодаря высокой светопрозрачности, низкой теплопроводности, небольшому удельному весу, удовлетворительной прочности, высокой термопластичности и другим свойствам широко применяется для изготовления деталей остекления. Детали остекления представляют собой прозрачные панели, которые применяются

в качестве стекол кабин, сдвижных фонарей, блистеров и окон фюзеляжа.

Сущность метода переработки органического стекла в детали состоит в придании плоскому разогретому листу необходимой формы с последующей фиксацией ее охлаждением.

ОРИЕНТАЦИЯ ЛИСТОВОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Применение ориентированного органического стекла

Ориентация повышает физико-механические и эксплуатационные характеристики органического стекла. Ориентированное органическое стекло обладает повышенными долговечностью, циклической прочностью, серебростойкостью, удельной ударной вязкостью, эксплуатационной живучестью. Так, ударная вязкость ориентированного органического стекла в два раза выше ударной вязкости неориентированного органического стекла. Статическая прочность деталей остекления из ориентированного органического стекла в два (и более) раза выше, чем из неориентированного, при ударных испытаниях имеет место локальное разрушение.

Ориентация органического стекла — упорядочение его внутренней структуры путем механического утонения листового органического стекла, разогретого до высокоэластичного состояния за счет двухосного или преимущественно одноосного растяжения (рис. XII.1, XII.2).

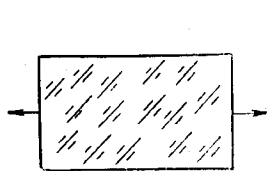


Рис. XII.1. Схема одноосной ориентации.

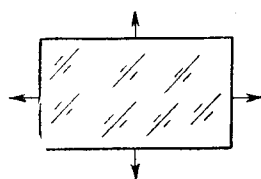


Рис. XII.2. Схема двухосной ориентации.

Степень ориентации органического стекла — показатель упорядочения внутренней структуры ма-

териала — задается конструктором и рассчитывается по формуле

$$E = \left(\sqrt{\frac{h_{\text{нач}}}{h_{\text{кон}}}} - 1 \right) 100,$$

где $h_{\text{нач}}$ — толщина органического стекла до ориентации, мм;

$h_{\text{кон}}$ — толщина органического стекла после ориентации, мм.

Технологические режимы ориентации органического стекла

При назначении режимов ориентации органического стекла марки СО-120 (ГОСТ 10667—74) рекомендуется пользоваться ОСТ 1.41484—73 ÷ ОСТ 1.41486—73 «Ориентация органического стекла. Типовые технологические процессы».

Технологические режимы ориентации органических стекол других марок определяются экспериментально.

Линейные размеры листов ориентированного органического стекла

Отечественной промышленностью серийно выпускается листовое ориентированное органическое стекло АО-120 по ТУ 6-05-1554—72. Размеры выпускаемых листов, предельное отклонение по толщине и степень ориентации приведены в табл. XII.1. Степень ориентации в направлении обеих осей листа органического стекла одинакова.

Величина предельных отклонений по толщине не регламентируется на расстоянии 100 мм от торца по всему периметру.

Таблица XII. 1

Толщина ориентированного листа, мм	Максимальные размеры листа, мм	Предельные отклонения по толщине, мм	Степень ориентации, %
12	1250×1250	±1,00	50
10	1300×1300	±0,85	55
10	1200×1200	±0,85	50
8	1800×2100	±0,75	50
8	1300×1300	±0,75	58
7	1850×2150	±0,75	52
6	1850×2150	±0,65	53
5	1900×2200	±0,60	55
4	1900×2200	±0,55	58
3	1950×2250	±0,50	63
2	1350×1350	±0,35	58
1	1500×1500	±0,35	73

Физико-механические свойства ориентированного органического стекла

Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	24
Временное сопротивление разрыву, МПа	85
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	8
Серебростойкость по ацетону (технологическая проба), мин	3

Оборудование для ориентации органического стекла

Для ориентации органического стекла применяется специализированное оборудование, состоящее из камеры нагрева и смонтированного в ней растягивающего устройства с захватами, расположенными равномерно по периметру листа органического стекла. Лист, закрепленный в захватах растягивающего устройства, разогревается теплым воздухом, нагнетаемым вентилятором в камеру нагрева. Разогретый лист подвергается механическому утонению и охлаждению в растягивающем устройстве при открытой камере нагрева. Подробное описание конструкции установки модели УОС-1 для ориентации органического стекла приведено в РТМ-1.4.468—78. Конструкция установки модели УОС-5К аналогична. В установках моделей УОС-1 и УОС-5К захваты растягивающего устройства расположены в горизонтальной плоскости.

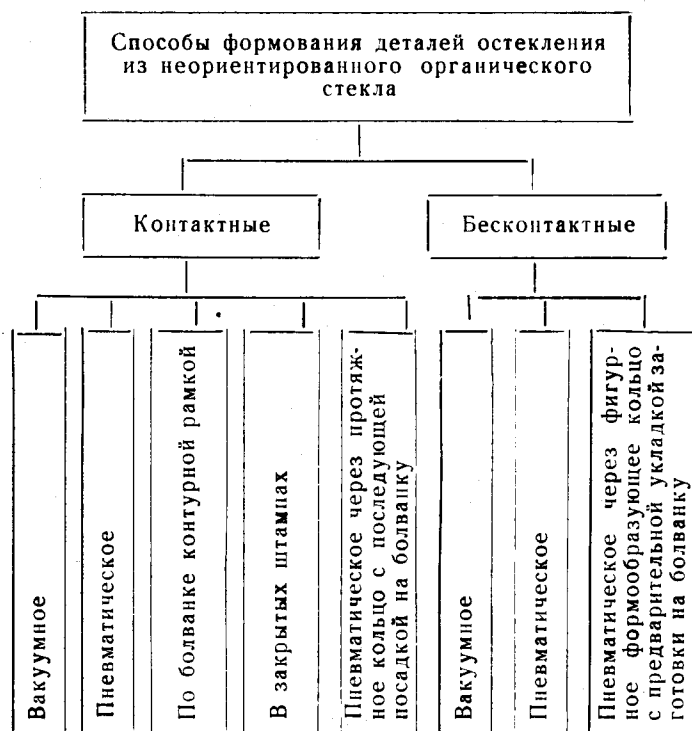
ФОРМОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ОСТЕКЛЕНИЯ ИЗ НЕОРИЕНТИРОВАННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Способы формования деталей остекления

Способы формования деталей остекления из неориентированного органического стекла подразделяются на контактные и бесконтактные (схема XII.1).

При контактных способах формования разогретая заготовка органического стекла укладывается на рабочую поверхность приспособления, задающую форму детали, и разогревается до температуры формования (на 15—20°С выше температуры размягчения органического стекла). Для уменьшения теплоотдачи приспособление перед формованием подогревается до 70—80°С. Отформованная деталь вместе с приспособлением охлаждается под термоизоляционным чехлом до 40—45°С. В целях снятия внутренних напряжений и обеспечения точности формы детали остекления, отформованные контактными способами, подвергают термической обработке (отжигу).

Схема XII.1



Контактное формование применяется для изготовления деталей остекления сложной формы и в сочетании с отжигом обеспечивает получение обводов отформованной детали с минимальным отклонением от теоретического контура.

Бесконтактное формование применяется для изготовления деталей остекления с поверхностями типа тел вращения, имеющими хорошие оптические свойства. Существуют два способа бесконтактного формования: вакуумный и пневматический. Выбор способа зависит от толщины исходной заготовки органического стекла и глубины вытяжки детали. Для формования толстостенных крупногабаритных деталей со значительной глубиной вытяжки применяется пневматический способ.

С увеличением глубины вытяжки возрастает разнотолщинность отформованной детали. Форма изготавливаемой детали задается конфигурацией протяжного кольца приспособления.

Заготовка органического стекла, разогретая до температуры формования, зажимается между камерой, в которой может быть создано разрежение

или избыточное давление воздуха, и прижимным кольцом.

Правильность обводов формуемой детали достигается за счет равномерного разогрева заготовки и точного регулирования величины вакуума или избыточного давления воздуха.

Величина вакуума или избыточного давления воздуха поддерживается постоянной до тех пор, пока деталь не охладится до 40—45°C, затем вакуум или избыточное давление отключают и деталь извлекают из приспособления.

Классификация деталей, изготовленных из неориентированного органического стекла

Выбор оптимального способа формования деталей остекления производится согласно конструктивно-технологическому классификатору. Детали остекления подразделяются на четыре класса (блистеры, окна фюзеляжа, стекла фонарей, стекла кабин и стекла

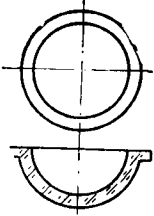
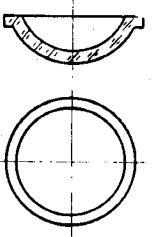
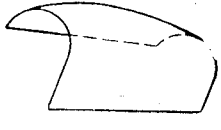
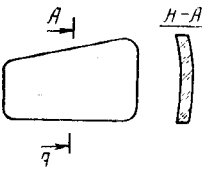
сдвижных фонарей), которые, в свою очередь, делятся на подклассы и типы. Конструктивно-технологическая характеристика деталей остекления из неориентированного органического стекла приведена в табл. XII.2, типовые технологические процессы изготовления деталей любого класса, подкласса и типа — в табл. XII.3.

Классификатор построен по двухкоординатной системе. По горизонтали располагаются входящие в класс детали с основными геометрическими параметрами, по вертикали — типовые технологические процессы.

Для определения оптимального способа формования детали остекления по классификатору устанавливают принадлежность ее к определенному классу, подклассу и типу и находят технологические процессы для изготовления данной детали (обозначены заштрихованными прямоугольниками).

Таблица XII.2

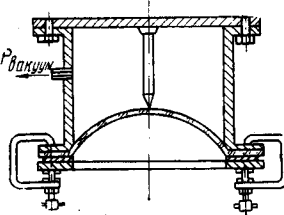
Конструктивно-технологическая характеристика деталей остекления из неориентированного органического стекла

Класс деталей	Обозначение класса	Эскизы деталей — типовых представителей класса	Характеристика деталей	
			конструктивная	технологическая
Блистеры	Бл		Объемные детали с замкнутыми контурами, с фланцем или без фланца, разнообразной геометрической формы в плане, с хорошими оптическими свойствами	Блистеры изготавливают бесконтактным методом — вакуумным или пневматическим формованием через протяжное формообразующее кольцо
Окна фюзеляжа	Оф		Объемные детали с замкнутыми контурами, с фланцем или без фланца, сферической формы или одинарной кривизны, с незначительной стрелой прогиба	Детали сферической формы получают вакуумным или пневматическим формованием через протяжное формообразующее кольцо. Детали одинарной кривизны формируются контактным способом (вакуумным) по болванке контурной рамкой
Стекла фонарей	Сф		Детали больших размеров незамкнутой формы, одинарной или небольшой двойной кривизны, с хорошими оптическими свойствами	Основную массу деталей изготавливают контактным методом — вакуумным или пневматическим формованием в матрицу. Наиболее хорошие оптические свойства достигаются при пневматическом формовании с фигурным формообразующим кольцом и с предварительной укладкой заготовки на болванку
Стекла кабин	Ск		Детали небольших размеров незамкнутой формы, плоские или одинарной и двойной кривизны, с малой стрелой прогиба	Формообразование производится различными способами в зависимости от формы и толщины детали. Детали небольшой толщины формируются вакуумным способом (контактным или бесконтактным). Детали большой толщины и сложной формы формируются пневматическим способом. Детали с точными обводами формируются по болванке контурной рамкой

Основные способы формования

Способ формования	Шифр формуемых деталей по классификатору	Схема формования	Краткое описание технологического процесса	Оборудование и оснастка
Контактный	вакуумное в матрицу	Сф-I-1	<p>Вакуумное формование в матрицу применяется для изготовления средне- и крупногабаритных деталей незамкнутой формы двойной кривизны с равномерной толщиной и удовлетворительными оптическими свойствами. Обводы деталей остекления соответствуют аэродинамическим контурам изделия</p> <p><i>Схема технологического процесса</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Разогрев заготовки органического стекла. 2. Укладка разогретой заготовки в вакуум-матрицу и закрепление прижимной рамкой. 3. Формование вакуумом. 4. Охлаждение отформованной детали до 40—45 °С при включенном вакууме. 5. Термообработка детали для снятия внутренних напряжений, возникающих в процессе формования. 6. Охлаждение детали под термоизоляционным чехлом до 40—50 °С 	Термошкаф. Вакуум-матрица. Приспособление для термообработки
	по болванке контурной рамкой	Оф-I-2 Сф-I-1 Ск-II-1, 2, 3, 4	<p>Формование по болванке прижимной рамкой применяется для изготовления деталей одинарной или двойной кривизны с удовлетворительными оптическими свойствами. Обводы деталей остекления соответствуют аэродинамическим контурам изделия</p> <p><i>Схема технологического процесса</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Разогрев заготовки органического стекла. 2. Укладка разогретой заготовки на рабочую поверхность болванки. 3. Формование детали прижимной рамкой. 4. Охлаждение отформованной детали. 5. Термообработка детали для снятия внутренних напряжений, возникающих в процессе формования. 6. Охлаждение детали 	Термошкаф. Болванка с контурной рамкой. Приспособление для термообработки
	пневматическое через протяжное кольцо с последующей посадкой на болванку	Бл-I-1 Сф-I-2	<p>Формование способом обратной посадки применяется для изготовления деталей сложной формы большой глубины с удовлетворительными оптическими свойствами</p> <p><i>Схема технологического процесса</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Разогрев заготовки органического стекла. 2. Укладка и закрепление разогретой заготовки. 3. Предварительное формование заготовки через протяжное кольцо избыточным давлением воздуха. 4. Обтяжка заготовки с посадкой на болванку при включенном вакууме. 5. Охлаждение отформованной детали в приспособлении при включенном вакууме. 6. Термообработка детали для снятия внутренних напряжений, возникающих в процессе формования. 7. Охлаждение детали 	Термошкаф. Приспособление для формования. Приспособление для термообработки

Продолжение табл. XII.3

Способ формования	Шифр формуемых деталей по классификатору	Схема формования	Краткое описание технологического процесса	Оборудование и оснастка
Бесконтактный вакуумное через протяжное формообразующее кольцо	Бл-II-1 Бл-III-1 Бл-IV-1 Оф-I-1		Вакуумное формование через протяжное формообразующее кольцо применяется для изготовления деталей, близких по форме к телам вращения, с хорошими оптическими свойствами <i>Схема технологического процесса</i> 1. Разогрев заготовки. 2. Укладка разогретой заготовки на рабочую поверхность приспособления, закрепление прижимным кольцом. 3. Формование детали вакуумом. 4. Охлаждение отформованной детали	Термошкаф. Приспособление для формования

ФОРМОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ОСТЕКЛЕНИЯ ИЗ ОРИЕНТИРОВАННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Технологические особенности формования ориентированного органического стекла

В процессе ориентации органическое стекло приобретает новые физико-механические свойства, которые оказывают существенное влияние на технологию переработки его в детали остекления. Усадка ориентированного стекла при разогреве его выше температуры размягчения значительно

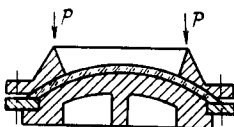
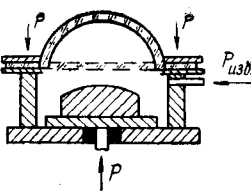
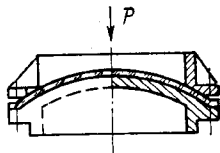
усложняет изготовление из него деталей остекления. Однако высокие «пластические» свойства ориентированного органического стекла позволяют формовать его «холодным» методом, то есть при температуре ниже температуры размягчения.

Классификация деталей остекления из ориентированного органического стекла

Для облегчения выбора оптимального способа формования детали остекления соответствующим образом классифицируют (табл. XII.4).

Таблица XII.4

Способ формования	Схема формования	Краткое описание технологического процесса	Оборудование
Совмещенный выше температуры размягчения бесконтактный вакуумное		Способ объединяет в одну технологическую операцию процесс вытяжки листа и последующее формование из него деталей. Вакуумное формование через протяжное формообразующее кольцо применяется для изготовления деталей с хорошими оптическими свойствами, однако при этом деталь может иметь отклонения от заданной высоты <i>Схема технологического процесса</i> 1. Ориентация органического стекла. 2. Установка вакуум-формы на заготовку. 3. Формование детали вакуумом. 4. Охлаждение отформованной детали. 5. Отключение вакуума. 6. Снятие вакуум-формы с отформованной детали. 7. Освобождение детали из зажимов растягивающих узлов. 8. Съем отформованной детали	Установка для ориентации. Вакуум-форма

Способ формования			Схема формования	Краткое описание технологического процесса	Оборудование	
Раздельный	выше температуры размягчения	бесконтактный	вакуумное	<p>Способ применяется при изготовлении деталей, имеющих форму, близкую к форме тел вращения, с повышенными оптическими свойствами и увеличенными допусками на теоретические обводы</p> <p><i>Схема технологического процесса</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Закрепление заготовки в рамках формовочного приспособления.2. Установка заготовки, закрепленной в рамках, в термошкаф.3. Выгрузка рамок из термошкафа.4. Укладка заготовки на приспособление для формования.5. Формование детали вакуумом.6. Охлаждение отформованной детали.7. Отключение вакуума, ослабление прижима стекла в рамках.8. Охлаждение детали	Электрошкаф. Пресс. Вакуум-форма	
		по болванке контурными рамками		<p>По этому способу изготавливают детали из стекла больших толщин (12—18 мм) сложной формы</p> <p><i>Схема технологического процесса</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Закрепление заготовки в рамках формовочного приспособления.2. Установка рамок и болванки в термошкаф.3. Нагрев заготовки.4. Формование заготовки.5. Охлаждение отформованной детали	Электрошкаф. Болванка. Пресс. Контурные рамки	
	ниже температуры размягчения	контактный	пневматическое через протяжное кольцо с посадкой на болванку		<p>Способ применяется при изготовлении деталей сложной конфигурации, отличающихся по форме от тел вращения</p> <p><i>Схема технологического процесса</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Закрепление заготовки в рамках приспособления.2. Установка в термошкаф формовочного приспособления и заготовки, закрепленной в рамках.3. Прогрев заготовки.4. Предварительное формование заготовки избыточным давлением.5. Подведение формовочной болванки под заготовку, стравливание избыточного давления и посадка заготовки по болванке.6. Охлаждение отформованной детали	Электрошкаф. Рамки. Приспособление для формования
		холодное по болванке контурной рамкой		<p>По этому способу изготавливают детали одинарной и незначительной двойной кривизны с высокими требованиями к геометрической форме и оптическим свойствам</p> <p><i>Схема технологического процесса</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Установка болванки, заготовки и рамки на тележку (сборка пакета).2. Загрузка тележки в термошкаф.3. Прогрев заготовки при заданной температуре.4. Формование заготовки.5. Термообработка заготовки.6. Охлаждение пакета	Электрошкаф. Болванка. Контурная рамка	

В основу классификации положен принцип деления деталей остекления по назначению, конструктивной форме и технологии изготовления. Классификатор составлен на основе результатов анализа деталей остекления, взятых из существующих конструкций, и анализа технологических процессов их изготовления.

При анализе выявлено следующее:

детали класса «окна фюзеляжа» и «блистеры» составляют 90% общего числа деталей, изготавливаемых методом совмещенной технологии; сущность метода заключается в объединении технологических процессов ориентации и формования;

наиболее распространенный способ формования деталей сложной геометрической формы — контактное формование на болванках с обтяжкой контурными рамками; наиболее перспективными способами изготовления деталей являются формование по совмещенной технологии и «холодное» формование.

Блистеры — объемные детали разнообразной геометрической формы, близкой к телам вращения, обладают хорошими оптическими свойствами. Наиболее совершенный способ получения блистеров — формование по совмещенной технологии (бесконтактное), объединяющей операции ориентации и формования. Изготовленные этим способом детали имеют хорошие оптические и физико-механические свойства.

Для получения блистеров сложной конфигурации, отличающихся по форме от тел вращения, применяется метод пневмоформования через протяжное кольцо с посадкой на болванку. Этот способ позволяет, используя множественную формовочную оснастку, получить за одну формовочную операцию несколько деталей.

Окна фюзеляжа — объемные детали двойной или одинарной кривизны с незначительной стрелой прогиба без повышенных требований к оптическим свойствам. Формообразование большинства деталей класса «окна фюзеляжа» осуществляется по совмещенной технологии, объединяющей операции вытяжки листа и последующего формования из него деталей. Сущность способа описана в характеристике класса «блистеры». При большой толщине (12—16 мм) детали изготавливают по отдельной технологии:

контактным способом — обтяжкой разогретой заготовки из ориентированного органического стекла по формообразующей болванке;

бесконтактным способом — вакуумным или пневматическим формованием через протяжное формообразующее кольцо;

методом «холодного» формования — для деталей, имеющих одинарную кривизну.

Стекла сдвижных фонарей — детали незамкнутой формы одинарной или двойной кривизны. Их поверхность является частью аэродинамического обвода конструкции, к их оптическим свойствам предъявляются высокие требования. Формообразование производится несколькими способами в зависимости от формы детали. Детали с одинарной и незначительной двойной кривизной изготавливают «холодным» формованием с последующим отжигом, снимающим формовочные напряжения.

Детали сложной формы со значительной двойной кривизной и скосами по местам крепления изготавливают по способу смешанного формования.

Стекла кабин — детали незамкнутой формы одинарной или двойной кривизны, плоские. Большинство деталей этого класса имеют небольшие размеры и малую стрелу прогиба. Формообразование производится несколькими способами в зависимости от формы и толщины детали. Детали небольшой толщины (до 8 мм) изготавливают по совмещенной технологии. Оформление теоретических обводов при этом производится по матрице, которая укрепена внутри вакуум-формы. Детали большой толщины и сложной конфигурации изготавливают по способу формования по болванке контурными рамками.

МОНТАЖ ДЕТАЛЕЙ ОСТЕКЛЕНИЯ САМОЛЕТОВ

Выбор способа крепления стекол к каркасам летательных аппаратов определяется материалом, применяемым для остекления, а также конструкцией агрегата, подлежащего остеклению.

При жестком креплении стекла прижимаются к каркасам болтами, винтами или заклепками, проходящими через отверстия или специальные вырезы (фистоны) в стеклах. Существует ряд разновидностей способов крепления. Первая — крепление монослойного органического стекла винтами, болтами и заклепками без применения распорных втулок (рис. XII.3); вторая — крепление стекла болтами, винтами или заклепками с применением металлических распорных втулок (рис. XII.4); третья — крепление силикатных многослойных стекол болтами через металлическую раму, в которую стекла впрессованы (рис. XII.5).

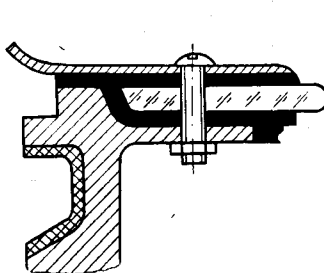


Рис. XII.3. Жесткое крепление стекла к каркасу без распорной втулки.

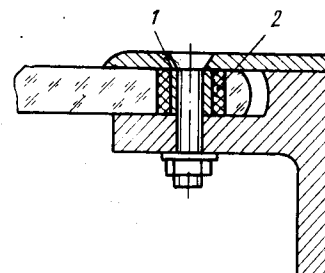


Рис. XII.4. Жесткое крепление стекла к каркасу с применением распорной втулки:
1 — металлическая втулка;
2 — резиновая втулка.

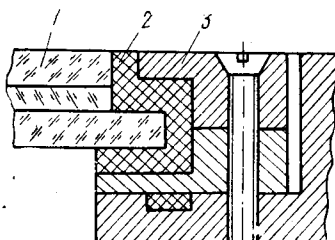


Рис. XII.5. Жесткое крепление силикатного многослойного стекла через металлическую раму:
1 — силикатное стекло; 2 — обрамление стекла; 3 — металлическая рама.

Вследствие воздействия механических нагрузок от затяжки болтов, эксцентричного их расположения относительно отверстий в стеклах, разности коэффициентов линейного расширения стекла и металла болта на деталях остекления появляются микротрещины. В целях устранения этого дефекта целесообразно болт устанавливать в резиновую и металлическую втулки. Резиновая втулка обеспечивает установку болта с гарантированным тепловым зазором до кромки стекла, металлическая исключает возможность сжатия стекла выше допустимых пределов, так как высота ее несколько больше толщины стекла; осевое усилие, возникающее при затягивании гайки, воспринимается втулкой и не передается на стекло.

Использование таких втулок позволяет затягивать гайки без применения тарированных ключей.

Ввиду малой стойкости неориентированных стекол к растрескиванию применять жесткое крепление их к каркасу нецелесообразно, оно может быть использовано для крепления только ориентированных органических стекол, а также впрессованных в металлическую раму изделий из силикатного стекла.

К полужесткому креплению стекол к каркасам относятся различные способы крепления в облицовочных окантовочных рамах и литых каркасах без рассверливания отверстий в стеклах. Стекла прижимаются металлическими накладками, которые крепятся к каркасам болтами или винтами. Со стороны стекла металлические накладки оклеены резиной. Полужесткий способ крепления можно применять для различных стекол: органического (ориентированного и неориентированного), силикатного, многослойных стекол, а также для камерного остекления (рис. XII.6).

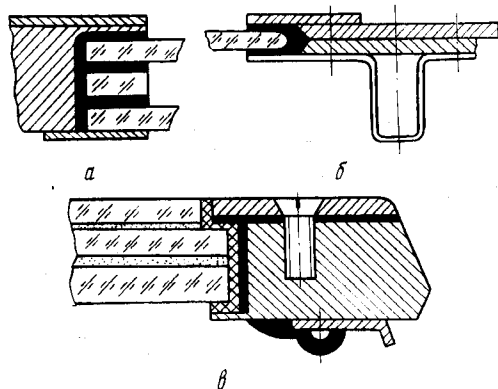


Рис. XII.6. Полужесткое крепление стекла с помощью прижимной ленты:

а — крепление двойного стекла; б — крепление одинарного стекла; в — крепление триплекса.

Этот способ целесообразно использовать при остеклении изделий тяжелого класса, вертолетов, а также козырьков фонарей изделий легкого класса.

Разновидностью полужесткого крепления является крепление с помощью комбинации прижимной металлической и мягкой (например лавсановой) лент (рис. XII.7). Такое крепление рекомендуется применять в основном на сдвижных частях

фонарей изделий легкого класса на стыке двух стекол по оси симметрии фонаря и по дугам каркаса для предохранения стекла от вырыва из каркаса.

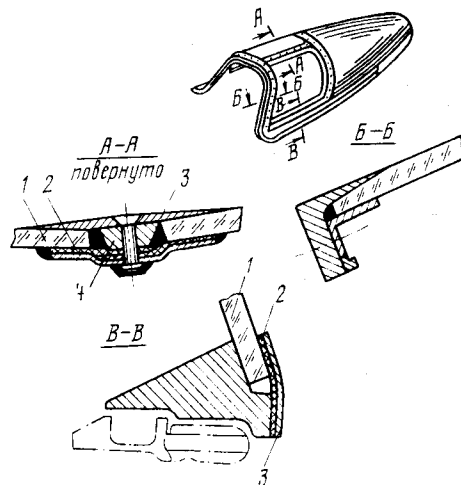


Рис. XII.7. Полужесткое крепление стекла с помощью прижимной металлической и лавсановой лент:

1 — деталь из органического стекла; 2 — мягкая лента; 3 — прижимная лента; 4 — вкладыш.

К полужесткому креплению относится также крепление двойных и тройных окон фюзеляжа пассажирских салонов (рис. XII.8).

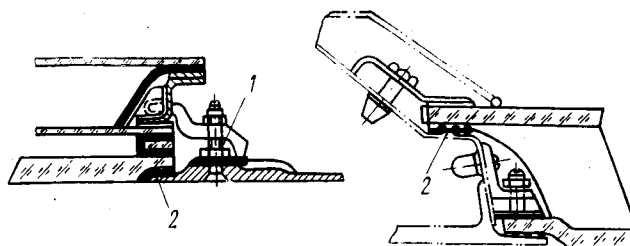


Рис. XII.8. Крепление окон фюзеляжа пассажирских салонов:

1 — прижим; 2 — рифленый уплотнитель.

Мягкое крепление стекол фонарей летательных аппаратов — крепление их к каркасам с помощью мягких лент и специальных лавсановых профилей. Указанный способ крепления допускает свободное перемещение стекол относительно каркаса, предупреждает возникновение местных концентраций напряжений в стекле в местах крепления.

Применяются следующие виды мягкого крепления стекол к каркасам фонарей: с помощью мягких лент без шомпола (рис. XII.9); с помощью мягких лент и шомпола (рис. XII.10); мягкая несилловая заделка с помощью обтюраторов (рис. XII.11); несилловая заделка с помощью резиновых и капроновых лент (рис. XII.12).

Крепление стекол к каркасам с помощью шомпола целесообразно только по продольным кромкам стекла. Крепление стекла с помощью шомпола по трем сторонам периметра (по двум продольным кромкам и одной поперечной) нецелесообразно, так как способствует возникновению

напряжений в стеклах при их тепловом расширении. Если шомпольная заделка стекла применена на поперечной кромке (по дуге фонаря), необходимо профиль каркаса, в котором будет крепиться стекло, делать разъемным, так как неразъемный профиль значительно усложняет процесс шомповки. Не рекомендуется применять для этого вида крепления лавсановые профили, так как они вызывают появление дополнительных напряжений в стекле.

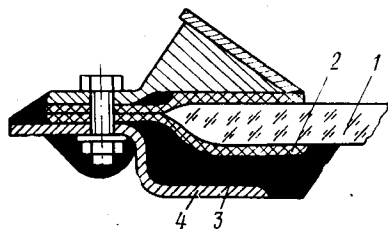


Рис. XII.9. Бесшомпольное крепление стекла с помощью мягких лент:

1 — деталь из органического стекла; 2 — мягкая лента; 3 — герметик; 4 — прижимная лента.

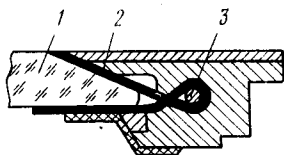


Рис. XII.10. Крепление стекла с помощью мягких лент и шомпола:

1 — деталь из ориентированного стекла; 2 — мягкая лента; 3 — шомпол.

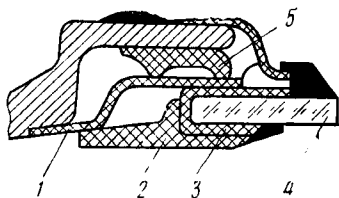


Рис. XII.11. Мягкое крепление стекла с упругим обтюратором:

1 — резиновый профиль; 2 — уплотнительная лента; 3 — капроновая лента; 4 — деталь из органического стекла; 5 — обтюратор.

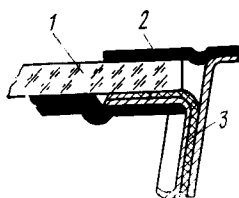


Рис. XII.12. Мягкое крепление стекла с помощью резиновых и капроновых лент:

1 — деталь из органического стекла; 2 — резиновая лента; 3 — капроновая лента.

Для соединения элементов мягкого крепления со стеклами рекомендуется применять клей ПУ-2 и ВС-10ТМ. Применять клей ВЗ1-Ф9, а также комбинацию клеев ВЗ1-Ф9 и 88НП для приклейки лент и уплотнительных прокладок нежелательно, так как они снижают предел прочности стекла на 25—30%.

При креплении стекол к каркасам с помощью капроновых или лавсановых лент конфигурация кромок стекол под приклейку лент может быть самой разнообразной (рис. XII.13).

На кромках а, б, в, г, кроме напряжений сдвига, возникают нерасчетные напряжения отрыва клеевой пленки, которых не должно быть. Применение в конструкциях кромок типа а, б, в, г нецелесообразно также с точки зрения их нетехнологичности: во-первых, сложная форма этих кромок требует большого объема ручных работ, во-вторых, раз-

личная конфигурация кромок на разных изделиях затрудняет механизацию работ по обработке кромок. Наиболее удобным для обработки являются стекла с кромками типа а.

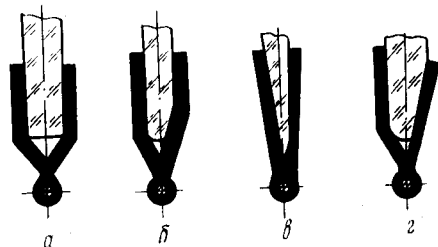


Рис. XII.13. Основные типы кромок, применяемые в конструкциях.

Способ крепления стекла к каркасу определяет особенности сборочного процесса, необходимую оснастку, характер взаимозаменяемости стекла и каркаса.

Для обеспечения взаимозаменяемости стекол и каркасов агрегатов остекления необходимо увязать три группы оснастки: оснастку для изготовления и контроля стекол, оснастку для изготовления деталей каркаса, оснастку для сборки и контроля каркаса.

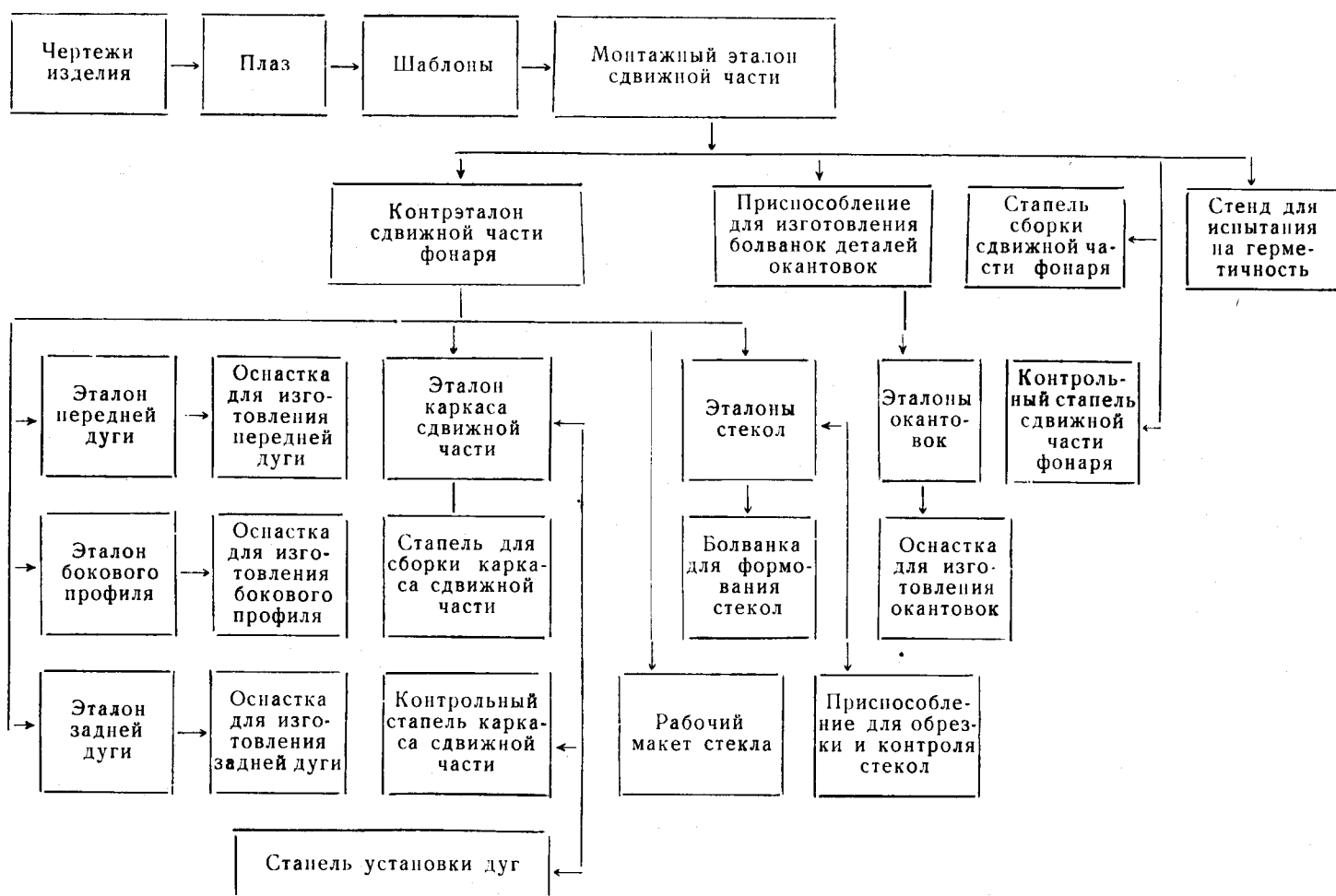
Взаимозаменяемость стекол и каркасов агрегатов остекления достигается с помощью плазово-шаблонно-эталонного метода. Схема увязки оснастки, необходимой для изготовления основных агрегатов остекления, приведена на схемах XII.2—XII.4.

При всех способах крепления стекол в каркасы необходимы предварительная установка стекол, проверка величин тепловых и монтажных зазоров, величин выступания или западания стекол, прилегания стекол к привалочной поверхности каркаса, степени совпадения отверстий в стеклах с отверстиями в каркасе. При жестком и полужестком способах крепления необходимо производить подгонку привалочных поверхностей каркаса, чтобы избежать появления в стеклах напряжений изгиба.

После выравнивания привалочной поверхности при полужестком способе крепления стекла необходимо установить стекло в проем каркаса и подогнать по нему прижимные ленты или обшивки. При жестком креплении после подгонки привалочных поверхностей подбираются металлические ограничительные втулки по толщине стекла. Металлическая втулка должна выступать над поверхностью стекла на 0,15—0,25 мм.

При жестком и полужестком способах крепления стекол к каркасам после предварительной установки и подгонки их производится герметизация остекления. При жестком креплении на привалочную поверхность каркаса накладывается уплотнительная лента, в которой прокладываются отверстия под болты. При полужестком креплении на привалочную поверхность и фалес стекла наносится слой герметика. Герметиком заполняется зазор между торцом стекла и каркасом (тепловой зазор).

Схема увязки оснастки, необходимой для изготовления сдвижной части фонаря изделий легкого класса



Одна из наиболее ответственных операций при креплении стекла к каркасу жестким и полужестким способами — затяжка болтов крепления стекла. Навертывание гайки производится простым ключом, окончательная затяжка — тарированным, после чего гайку необходимо отвернуть не менее чем на 1/2 оборота и затем затянуть ее до требуемого крутящего момента. Затяжку производить в несколько приемов постепенно и равномерно, чередуя подтягивание болтов на противоположных сторонах стекол. При затяжке болтов не следует допускать местных пережимов стекла.

Сборочно-монтажные работы по остеклению сдвижных частей фонарей легких изделий с мягким креплением стекла к каркасу состоят из трех основных этапов: заделка стекла по продольным кромкам, заделка по передней и заделка по задней дугам.

Наиболее часто встречающийся тип заделки стекла по продольным кромкам — шомпольный. Шомполовка производится в специальном приспособлении в несколько приемов, сначала технологическим комплектом шомполов диаметром меньше рабочего, затем рабочим шомполом. После шомполовки необходимо заполнить герметиком пространство между крепежной лентой и стенками паза профиля каркаса.

Во время вулканизации герметика необходимо произвести вытяжку капроновых (лавсановых) лент, чтобы в процессе испытания фонаря и эксплуатации не нарушалась герметичность соединения и не возникли дополнительные напряжения в стекле. Вытяжка лавсановых и капроновых лент производится на стенде.

Характер сборочно-монтажных работ при креплении стекла по передней и задней дугам определяется способом заделки стекла. Заделка стекла по поперечным кромкам может быть выполнена с помощью капроновых (лавсановых) лент, приклеиваемых к стеклу и крепящихся к дуге каркаса болтами (см. рис. XII.9), а также с помощью капроновых лент и резиновых профилей (см. рис. XII.11, XII.12), реже — с помощью шомпола (см. рис. XII.10).

Основные операции при креплении стекла при трех первых способах заделки — натягивание капроновой ленты, приклеенной к нижней и верхней поверхностям стекла, и прокалывание в ней отверстий шилом через отверстия в каркасе с последующим оплавлением их электропаяльником.

При шомпольной заделке петля может быть выполнена из капроновой и лавсановой лент, а также из прессованного лавсанового профиля. В первом случае шомполовку производят до помещения лен-

Схема XII.3

Схема увязки оснастки, необходимой для изготовления козырьков фонарей изделий легкого класса

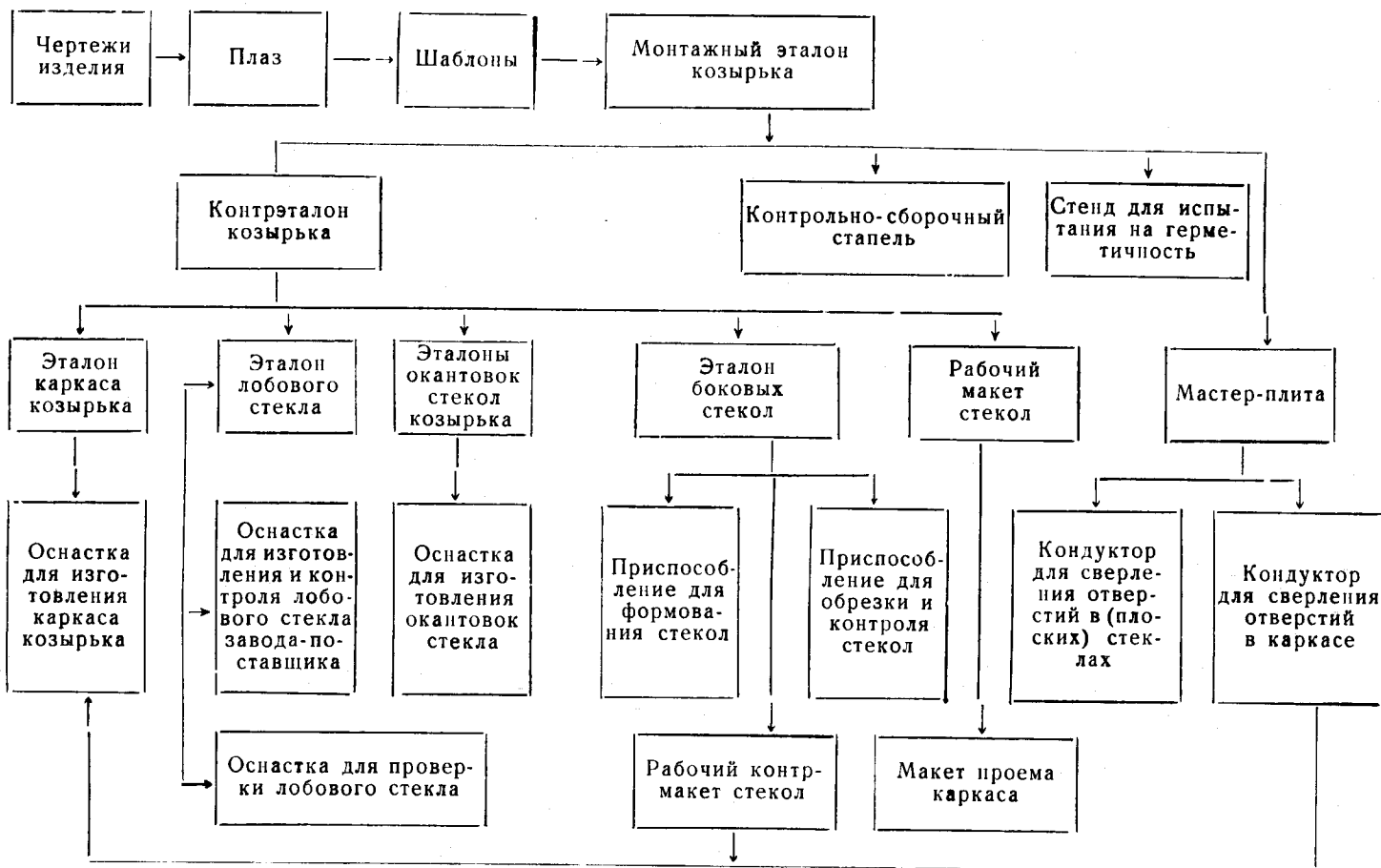
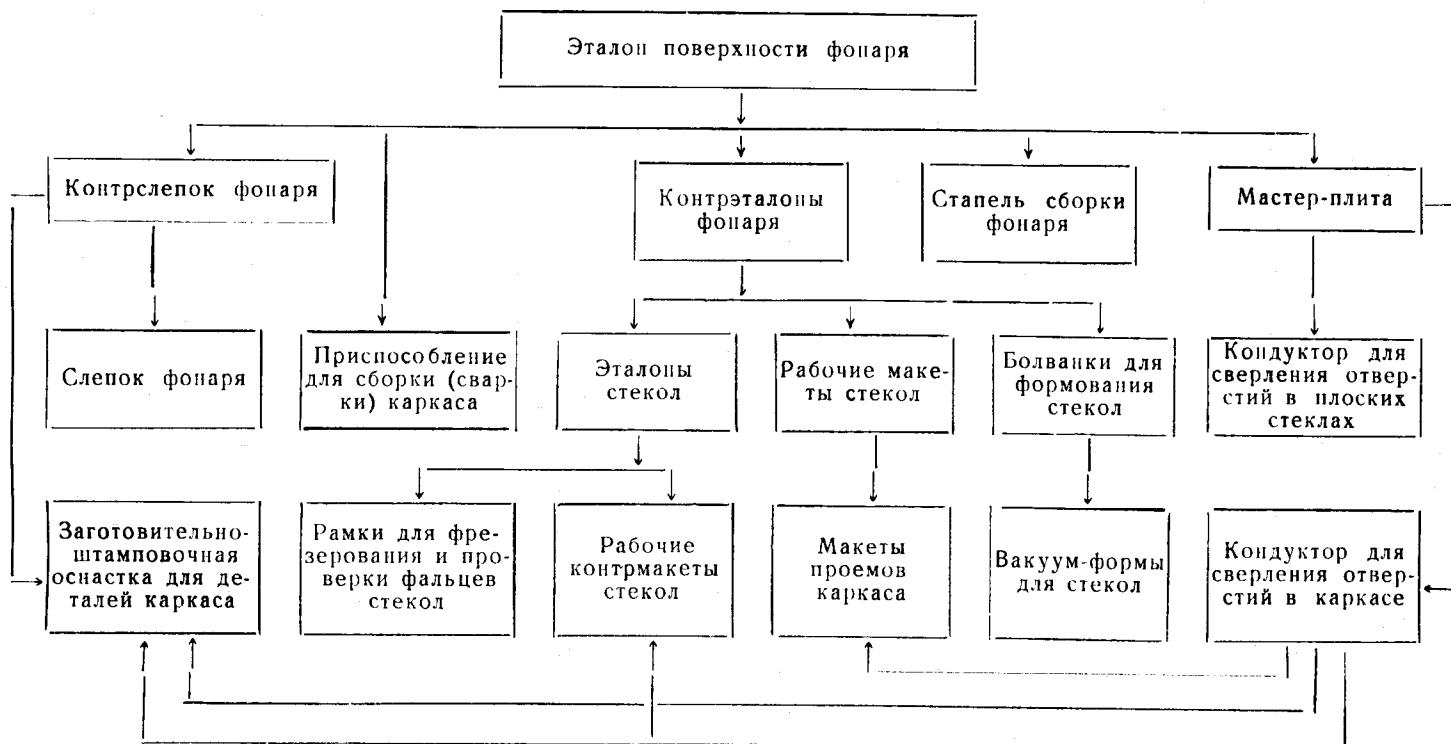


Схема XII.4

Схема увязки оснастки, необходимой для остекления кабин изделий тяжелого класса



ты в паз профиля каркаса, затем петлю вместе с шомполом укладывают в нижнюю часть разъемного профиля каркаса, устанавливают верхнюю часть и крепят их друг к другу. Во втором случае шомпол вставляется до приклейки профиля к стеклу. Стекло поступает на сборку с приклеенным профилем и вставленным в него шомполом.

КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ РАЗМЯГЧЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА ПРИ НАГРЕВЕ ЕГО В УСТАНОВКАХ ПЕРЕД ОРИЕНТАЦИЕЙ

Качество и выход годного ориентированного стекла определяются в большой степени точностью выбора момента начала ориентации. Процесс ориентации нужно начинать не ранее, чем стекло полностью перейдет в высокоэластическое состояние. Это соответствует температуре размягчения $T_p + (15-35)^\circ\text{C}$.

Для определения степени размягчения органического стекла используется его свойство при нагревании под небольшой одноосной растягивающей нагрузкой ($\sigma = 0,2 \div 0,3$ МПа) становиться оптически анизотропным и изменять свое двулучепреломление по строго определенному закону. Максимум кривой соответствует температуре размягчения, точка, где двойное лучепреломление обращается в 0, — полному переходу стекла в высокоэластическое состояние. Блок-схема прибора для регистрации величины двулучепреломления и управления процессом нагрева приведена на рис. XII.14.

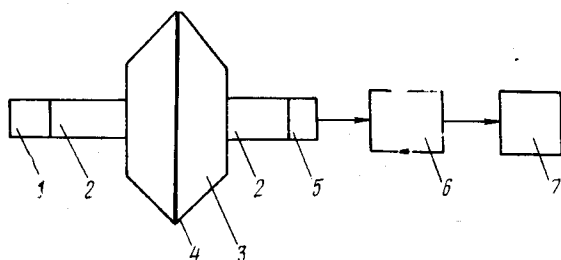


Рис. XII.14. Блок-схема прибора для регистрации величины двулучепреломления и управления процессом нагрева:

1 — источник света; 2 — плоский полярископ; 3 — установка для ориентации; 4 — заготовка органического стекла; 5 — фотоземлет; 6 — электронный блок; 7 — регистрирующий прибор.

КОНТРОЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ОСТЕКЛЕНИЯ

Качество деталей остекления определяется рядом факторов, среди которых важную роль играют оптические искажения.

Оптическое искажение изображения — это вытягивание или сужение наблюдаемого предмета по одному или нескольким направлениям. При наличии на стекле грубых дефектов изображение может носить характер излома и нечеткости по всему полю или на отдельных участках. О величине оптического искажения, с точки зрения контроля в производственных условиях, позволяют судить понятия «игра изображения» и «угловое сме-

щение луча». Вектором углового смещения луча является перпендикулярный первоначальному лучу вектор, лежащий в плоскости отклонения и по абсолютной величине равный углу отклонения луча.

Игра изображения — это максимальная разность значений векторов углового смещения лучей для точек в пределах отрезка заданной длины, перпендикулярного оси проекции. Оптические искажения предметов, наблюдаемых через органическое стекло, связаны с невозможностью изготовить изделия с плоскопараллельными поверхностями. В результате этого любое изделие из органического стекла является в той или иной степени призмой, обладающей «угловым смещением луча», а невозможность создания одинакового уклона по всей поверхности стекла (наличие волнистости, полосности, оптических кругов) приводит к возникновению оптического искажения, называемого игрой изображения. По оптическим свойствам листовое органическое стекло должно соответствовать требованиям, указанным в ГОСТ 10667—74 «Стекло органическое листовое для остекления самолетов» и ТУ-6-05-1554—77 «Стекло авиационное органическое марки АО-120».

Оптические дефекты, искажающие видимое изображение, можно разделить на три группы: А — локальные непрозрачные, Б — локальные прозрачные, С — клиновидные. Дефекты групп А и Б появляются при изготовлении листового органического стекла, их контроль осуществляется визуально, согласно ГОСТ 10667—74 и ТУ-6-05-1554—77. Контроль оптических искажений группы С плоских листов из органического стекла осуществляется на установке, согласно ГОСТ 10667—74 (рис. XII.15).

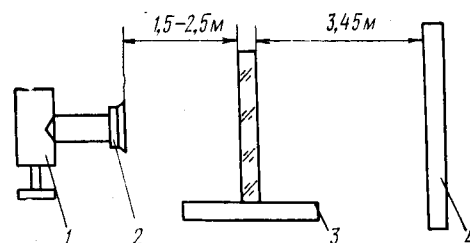


Рис. XII.15. Установка для контроля оптических свойств плоских листов органического стекла:

1 — проектор; 2 — объектив с тонкими линиями; 3 — смотровой стол; 4 — экран.

На экране фокусируют изображение нити, затем медленно продвигают лист органического стекла перпендикулярно направлению пучка света и отмечают положение проекции нити. Угловое смещение определяют как расстояние между вершиной искривленной проекции нити и хордой, стягивающей просматриваемый участок искривленной проекции. Контроль оптических искажений группы С в деталях остекления одинарной и двойной кривизны на заводах отрасли осуществляется путем визуального осмотра и сопоставления искажения изображений в изготавливаемом стекле с искажением изображения на эталоне. Недостатками данного метода являются его субъективность и невоз-

возможность количественной оценки величины оптических искажений. Для объективной количественной оценки оптических искажений всех групп плоских листов и деталей одинарной и двойной кривизны существуют установки моделей КОИ-4, КОИ-5. Схема контроля приведена на рис. XII.16.

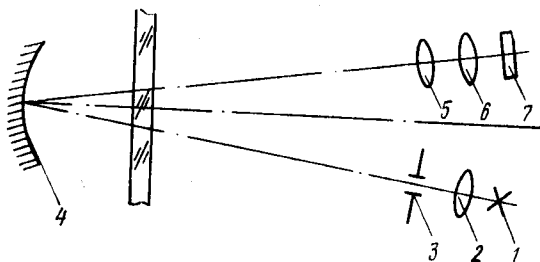


Рис. XII.16. Схема контроля:

1 — источник света; 2 — конденсор; 3 — щелевая диафрагма; 4 — сферическое зеркало; 5 — объектив; 6 — цветной светофильтр; 7 — экран.

Световой поток от источника света 1 через инфракрасный фильтр собирается объективом 3 на угловом зеркале 4, расположенном в оптическом центре сферического зеркала 5. Расходящийся конус световых лучей проходит контролируемый объект, отражается от сферического зеркала и вторично проходит контролируемый объект. Лучи света, угол преломления которых меньше заданного, попадают в плоскость зеркала 4 и рассеиваются.

Остальные лучи проходят светофильтры 6, наклеенные на плоскопараллельную пластину 7. Объектив 8 собирает лучи и строит на выходном экране 9 цветное изображение контролируемого объекта. При наличии на контролируемой детали дефектов группы А и Б типа царапин, трещин, включений на экране видны черные точки, полосы. Дефекты группы С, искажающие изображение, дают на экране цветные локальные зоны. По цвету зоны получают количественную оценку величины углового смещения луча.

Цветное кодирование углов отклонения тестирующих лучей: серый цвет экрана ($0 < \alpha < 1'$), зеленый ($1' < \alpha < 4'$), желтый ($4' < \alpha < 8'$), красный ($8' < \alpha < 12'$). Цветное изображение участка контролируемого объекта диаметром 500 мм воспринимается на выходном экране в масштабе 1:2. Перемещение контролируемого объекта по заданной программе в установках моделей КОИ-4, КОИ-5 осуществляется манипулятором.

ЛИТЕРАТУРА

РТМ-1379. Изготовление деталей остекления фонарей и кабин из неориентированного органического стекла. 1972.

Ориентированное органическое стекло в самолетостроении. Материалы научно-технического совещания ОНТИ. 1962.

Марек О., Томка М. Акриловые полимеры. Перевод с чешского. М.—Л., «Химия», 1966.

Применение высокопрочных и высокомодульных полимерных композиционных материалов (угле-, боро-, органо-, стеклопластиков и т. п.) в конструкциях летательных аппаратов позволяет снизить их массу и повысить ресурс.

В процессе создания надежных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ)

вопросы конструирования и разработки технологии изготовления являются органически взаимосвязанными.

Прогресс создания современных ПКМ и увеличение объема исследований в этом направлении позволит расширить область применения полимерных композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов.

Глава 1. ПРИМЕНЯЕМЫЕ ВЫСОКОМОДУЛЬНЫЕ И ВЫСОКОПРОЧНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Свойства полимерно-композиционных материалов могут изменяться в зависимости от состава и технологии изготовления в широком диапазоне.

Усредненные физико-механические характеристики полимерных композиционных материалов в сравнении с применяемыми металлами приведены в табл. XIII.1.1.

В состав полимерных композиционных материалов входят высокопрочные и высокомодульные волокна и полимерные связующие. Характери-

стики применяемых наполнителей приведены в табл. XIII.1.2.

Разработка конструкции деталей из полимерных композиционных материалов имеет ряд особенностей. Технолог должен привлекаться для оценки технологичности деталей из композиционных материалов в значительно большей мере, чем при проектировании металлических конструкций, по следующим причинам:

1. Композиционные материалы анизотропны, ориентацию волокон в конструкции задает конструктор в соответствии с действующими нагрузками, технолог определяет возможность обеспечения требуемой ориентации.

2. Изготовление материала и формообразование детали происходит одновременно, поэтому разброс физико-механических характеристик материала детали больше, чем для металлических.

Для стабилизации режимов технологического процесса и физико-механических характеристик материалов рекомендуется шире применять предварительно пропитанные материалы («сухой» способ изготовления), позволяющие механизировать и автоматизировать технологические процессы намотки и выкладки, с последующим автоклавным и прессовым формованием, а также вести пооперационный контроль технологических процессов.

Технологические характеристики применяемых полимерных композиционных материалов, а также оборудование для изготовления деталей представлены в табл. XIII.1.3 и XIII.1.4.

Таблица XIII.1.1

Материал	Плотность γ , г/см ³	Прочность при растяжении σ , МПа	Модуль упругости при растяжении E , ГПа	Удельная прочность при растяжении σ , км	Удельная жесткость $\frac{E}{\gamma}$, км
Углепластик	1,5	1200	170	80	11 300
Боропластик	2,0	1200	270	60	13 500
Органопластик	1,3	2000	95	154	7300
Стеклопластик	2,0	2000	70	100	3500
Алюминиевые сплавы	2,7	600	70	22	2600
Титан	4,5	1100	110	24,5	2430
Сталь	7,8	2100	200	26,8	2580

Таблица XIII.1.2

Тип наполнителя	Наименование, марка наполнителя	Радиус* перегиба, мм	Толщина** монослоя, мм	ТУ, ОСТ
Углеродные	Жгут ВМН-4 24 сложения	5	0,35—0,42	ТУ-48-2048—76
	Ровница ВМН-РК	5	0,25—0,3	ТУ-48-012041—77
	Лента кордная			ТУ6-06-ИЗ4—77
	ЛУ-3	5		ТУ6-06-31-201—77
	ЛУ-П	5	0,1	ТУ6-06-31-212-78
Борные	ЭЛУР-1	50	0,15	ТУ6-02-877—76
	Волокно			
	Комплексная нить КБСН	50	0,3	ТУ6-11-15-543—75
Стекланные	Нити крученые	2	0,11—0,14	ТУ6-11-431—77
	ТС-6,8×1×2			ТУ6-11-205—76
	ВМС-6-7,2×1×2-80			ТУ6-11-442—72
	ВМПС-6-7,2×1×2-270			
	Жгуты			ТУ6-11-15-554—75
Органические	РВМПН-10-400-80			ГОСТ 17139—71
	РВМН-10-400-80			
	Нити крученые СВМ № м 17, 34	2	0,2—0,25	ТУ6-06-1122—76

* Радиус перегиба приводится для предварительно пропитанных полуфабрикатов.

** Толщина монослоя дана для композиционного материала, отформованного в автоклаве.

Таблица XIII.1.3

Марка связующего	Марка материала	Условия отверждения			Хранение пре-прегов, сутки, при температуре не выше 25 °С	Марка связующего	Марка материала	Условия отверждения			Хранение пре-прегов, сутки, при температуре не выше 25 °С
		максимальная температура, °С	давление, МПа	цикл, ч				максимальная температура, °С	давление, МПа	цикл, ч	
ЭТФ	КМУ-1Л	200	1,2	9	1	СП-95	КМБ-2М	235	1,0	6	30
	КМУ-1у					УП-1230с	КМБ-3М	140	0,4	6	30
Э-341А (5-211Б)	КМУ-1в	125	1,0	6	3	ЭНФБ	КМБ-4М	160	0,6	6	180
	КМУ-3Л					ЭДТ-10П	ЭДТ-10ВОВ (ВПС-9)	180	0,1—0,5	3	10
ЭНФБ	КМУ-4Л	165	0,6	6	180	Э-341А (5-211БМ)	7Н	160	0,5	8	20—30
	КМУ-4Э	175	0,6	6	180						

Таблица XIII.1.4

Оборудование для изготовления деталей из полимерных композиционных материалов

Оборудование	Размеры изготавливаемых деталей и препрега, мм	Основные технические характеристики оборудования	Примечание
Установка УЛС-3 для изготовления лент	Ширина лент: стеклянной — до 50 углеродной — до 50 тканых — до 100	Условная производительность, кг/ч: — для стеклоленты при ширине 50 мм и скорости протягивания 20 м/мин — 24 — для углеродной ленты при ширине 50 мм и скорости протягивания 7 м/мин — 15 — для тканой стеклоленты при ширине 100 мм и скорости протягивания 5 м/мин — 4,5	Возможно использование существующих установок модели УЛС-2М, УЛК-1, УЛК-2

Оборудование	Размеры изготавливаемых деталей и препрега, мм	Основные технические характеристики оборудования	Примечание
Установка УПСТ-300 для пропитки углеродных тканей	Ширина ткани до 300	Условная производительность при скорости движения углеродной ткани 2 м/мин и ширине 300 мм, кг/ч — 14	
Установка УПСТ-1000М для пропитки тканей	Ширина ткани до 1000	Условная производительность при скорости движения стеклоткани 1 м/мин и ширине 1000 мм, кг/ч — 30	
Установка УПСТ-1600М для пропитки тканей	Ширина ткани до 1600	Условная производительность при скорости движения стеклоткани 1 м/мин и ширине 1600 мм, кг/ч — 50	
Станок НЛ-ЗПУ для намотки лонжеронов из стеклопластиков и композиционных материалов	Диаметр до 550 Длина до 9000	Угол намотки, град. — 0—90 Производительность, кг/ч — 7	С 1982 г. заменяется станком модели НЛ-3А
Намоточные станки для изготовления деталей из стекло-, угле- и боропластиков:			
НК-9ПУ	Диаметр 50—500 Длина 200—2000	Угол намотки, град — 10—90 Производительность, кг/ч — 18	С 1982 г. заменяется станком модели НК-0,8-4
НК-10ПУ	Диаметр 500—1600 Длина 500—4000	Угол намотки, град. — 5—90 Производительность, кг/ч — 18	С 1982 г. заменяется станком модели НК-1,6-8
НК-11ПУ	Диаметр 500—2500 Длина 3000—10 000	Угол намотки, град. — 5—90 Производительность, кг/ч — 18	С 1982 г. заменяется станком модели НК-2,5-12
Станки для изготовления деталей методом выкладки ВКЛ-1-2,5; ВКЛ-2-8; ВКЛ-1-16	Ширина от 0 до 2000 Длина от 0 до 16 000	Угол выкладки, град. — 0—90	
Автоклавы: АЭ 1,2-4 АЭ 1,8-6 АЭ 2,5-10 АЭ 3,15-16 АЭ 4,5-26	Диаметр от 1200 до 4500 Длина от 4000 до 26 000	Рабочее давление, МПа — 16 Рабочая температура, °С — 380	
«Шольц» А—25.576 А—25.578 А—25.580 А—25.582 А—25.584	Диаметр от 800 до 450 Длина от 1000 до 26 000	Рабочее давление, МПа — 30 Рабочая температура, °С — 380—450	

Глава 2. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПКМ)

1. Для удовлетворения требованиям технологичности конструкция деталей из ПКМ должна обеспечивать:

а) возможность снятия отформованных деталей с технологической оснастки (пуансонов, матриц, оправок), для чего должны быть предусмотрены прессовые уклоны или конусность деталей, а также учтены термические коэффициенты изменения размеров оснастки и отвержденного пакета из ПКМ;

б) возможность применения наиболее простой металлической формы, для чего поверхности детали должны быть простыми по конфигурации, а число плоскостей разреза — наименьшим.

2. Для обеспечения однородной усадки и устра-

нения коробления и перекосов детали сечения не должны иметь резких переходов по толщине и больших утолщений.

3. При конструировании деталей из ПКМ чистовые размеры необходимо задавать с учетом изменения размеров набранного пакета после его формования.

4. Качество поверхности изготавливаемых деталей определяется качеством применяемой оснастки (форм, оправок, цулар).

Оформляющие поверхности форм, оправок изготавливать с шероховатостью поверхности не более 1,25 $\sqrt{\text{ }}$.

5. При проектировании технологической оснастки необходимо предусматривать технологические припуски:

- для проверки качества материала изготавливаемой детали (образец-свидетель);
- для обеспечения возможности намотки изделия по геодезическим линиям (рис. XIII.2.1).

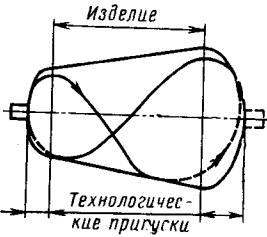


Рис. XIII.2.1. Изделие с технологическими припусками.

6. При проектировании деталей и оправок для набора пакета методом геодезической намотки из предварительно пропитанных связующим лент необходимо учитывать, что угол намотки определяется соотношением

$$\sin \varphi = \frac{r_0}{r},$$

где φ — угол намотки однонаправленной ленты к образующей оправки;

r_0 — радиус полярного отверстия оправки (радиус цапф оправки);

r — текущий радиус.

Оптимальная форма технологического днища оправки должна обеспечивать наиболее устойчивое положение наматываемой ленты, определяется она в зависимости от угла намотки изделия.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ВЫКЛАДКИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ФОРМОВАНИЕМ

Методом выкладки с последующим формованием изготавливают детали плоские, одинарной и двойной кривизны, например, обшивки, накладки и т. п.

Выкладка пакетов заготовок производится из предварительно пропитанного однонаправленного или тканого наполнителя автоматизированным или полуавтоматизированным способом.

Заготовки плоских обшивок и одинарной кривизны с углом подъема не более 5° могут быть изготовлены на станках типа ВКЛ.

Заготовки деталей двойной и одинарной кривизны с углом подъема более 5° получают путем автоматизированного изготовления одного или нескольких слоев на выкладочных или намоточных станках и ручного перенесения их на форму с последующей прикаткой через пленку.

Технологичными являются детали, не имеющие резких перепадов толщин, выступов, впадин, перегибов материала под острыми углами. Углы ориентации армирующего наполнителя в одном слое должны быть одинаковыми.

При проектировании тонколистовых обшивок для предотвращения «поводки» слои с различной ориентацией следует чередовать и располагать симметрично относительно срединного, например, $0^\circ-90^\circ-0^\circ-90^\circ-0^\circ$. При ориентации, отличной от 0° и 90° , необходимо предусмотреть слой с ориентацией \pm , например, $\pm 45^\circ$, $\pm 30^\circ$.

Для повышения ударной стойкости и улучшения товарного вида наружный и внутренний слои деталей рекомендуется изготавливать из тонкой стекло-

ленты или стеклоткани типа Э-0,06; Э-0,025, пропитанных связующим.

Обшивки используются как самостоятельные детали, а также при изготовлении трехслойных конструкций с заполнителями.

Обеспечение необходимой прочности и снижение массы деталей достигается подбором соответствующей схемы заделки конструкции. Схемы заделок торцов панелей представлены на рис. XIII.2.2.

Торцы панелей могут быть заделаны слоями стеклоткани (рис. XIII.2.2, а, б, в), вкладышами (рис. XIII.2.2, г), накладками (рис. XIII.2.2, ж, з).

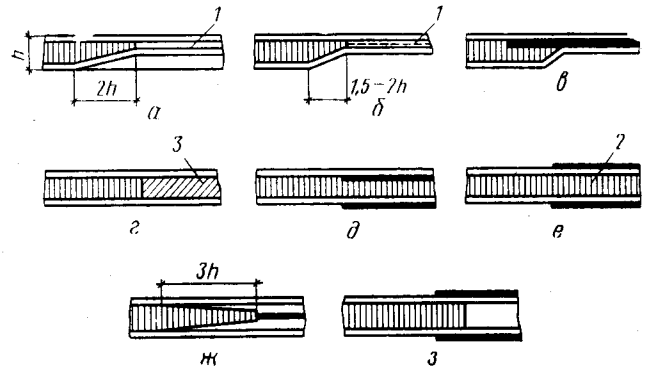


Рис. XIII.2.2. Схема заделки торцов панелей:

1 — стеклоткань; 2 — сотовый наполнитель; 3 — вкладыш.

Заделка торцов панелей, крепление арматуры, заполнение гнезд под болты может также производиться эпоксидной мастикой или пастой со стеклянным наполнителем-микрошферой.

Стыки панелей для передачи усилий и обеспечения разъемов выполняются различными методами.

В местах соединения, как правило, вместо сотового заполнителя между обшивками закладывают вкладыши, профили, втулки цилиндрической или конической формы, фольгу и т. п., а также предусматривают ребра жесткости.

В конструкциях замкнутого контура типа «окантовка» с продольным и поперечным набором элементов жесткости наиболее сложными являются места заделки этих элементов, так как при их изготовлении необходимо обеспечить давление в диаграммально противоположных направлениях. В конструкциях этого типа следует предусмотреть технологический разъем.

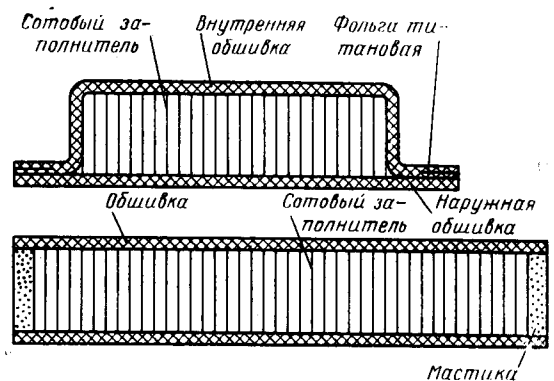


Рис. XIII.2.3. Схема детали трехслойной конструкции.

В целях снижения трудоемкости изготовления изделий толщиной $\delta > 1$ мм, а также с местными утолщениями рекомендуется использовать шпон из углеродных и стеклянных лент.

На рис. XIII.2.3 представлена схема детали трехслойной конструкции.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ НАМОТКИ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ

Методом намотки изготавливают детали, имеющие форму тел вращения или близких к ним (отсеки, трубы канала воздуховода, трансмиссионные валы, тяги и т. п.), а также детали сложной геометрической формы (лопасти, лонжероны лопастей и т. п.).

Намотку деталей рекомендуется производить на станках с ЧПУ типа НК-ПУ или НЛ-ПУ с использованием предварительно пропитанных связующим лент. Программа намотки разрабатывается аналитически или экспериментально (для деталей сложной формы). Намоточные станки с ЧПУ обеспечивают намотку лент на оправку с отклонением от заданного угла не более $\pm 1^\circ$ и по смещению витка не более 1 мм.

Повышение жесткости намотанной конструкции может быть достигнуто использованием оребренных или многослойных оболочек. Применение оребренных оболочек, когда изделия подвергаются сжимающим, изгибающим нагрузкам и крутящим моментам, позволяет значительно снизить массу конструкции. На рис. XIII.2.4 показаны элементы оребрения, которые могут применяться в конструкциях из полимерных композиционных материалов.

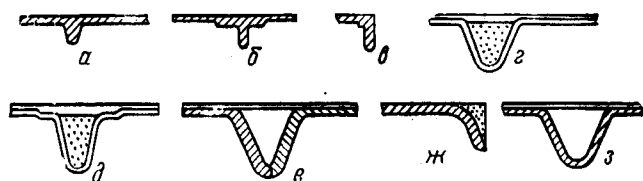


Рис. XIII.2.4. Конструктивное оформление элементов оребрения.

Шпангоуты, показанные на рис. XIII.2.4, а, б, в, образуются путем замотки лентой или жгутом углубления на оправке, предварительно выложенного слоем пропитанной ткани для улучшения сдвиговых характеристик.

Шпангоуты можно оформить также выкладкой пропитанной ткани и укладкой пенопластового вкладыша с последующей намоткой оболочки, которая уплотняет шпангоут (рис. XIII.2.4, г, д). В качестве вкладышей применяется термореактивный пенопласт (полиуретановый либо фенольно-каучуковый), который может без разрушения выдержать режим отверждения оболочки из ПКМ.

Кроме того, для образования шпангоутов можно применять намотку нитью по геодезическим линиям (рис. XIII.2.4, е, ж, з). Профиль шпангоута в этом случае определяется заданным углом намотки. Стрингерный набор с сечениями (см. рис. XIII.2.4, а, б, г, д, з) предварительно формируется, выкладывает-

ся на оправке и после этого наматывается оболочкой. Следует избегать перерезания профилей шпангоутов и стрингеров, отверстия при необходимости рекомендуется располагать между ними.

Трехслойные конструкции рекомендуется изготавливать из облегченного заполнителя, помещенного между двумя силовыми оболочками из ПКМ. В качестве заполнителя могут применяться металлические и стеклопластиковые соты, пенопласт (армированный и неармированный), различные профили из ПКМ (треугольные, прямоугольные, фасонные, круглые).

При выборе заполнителя следует учитывать нагрузки, действующие на конструкцию, и особые требования, такие, как радиопрозрачность, локальные нагрузки, наличие люков и отверстий и т. д.

Соединение трехслойных оболочек с другими отсеками можно осуществлять так же, как и у монолитных оболочек, поэтому в концевых сечениях внутренняя и внешняя оболочки должны соединяться между собой.

Наличие отверстий в оболочках, изготовленных методом намотки, значительно ослабляет конструкцию, поэтому при конструировании таких оболочек следует избегать отверстий.

При оформлении отверстий, если это возможно по конструкции, им следует придавать форму ромба (рис. XIII.2.5, а). Геометрия ромба определяется углом намотки нити. В этом случае перерезается минимальное количество волокон.

Края круглых отверстий необходимо усиливать окантовкой из пропитанной ткани (рис. XIII.2.5, б, в), закладкой предварительно отформованной окантовки, изготовленной методом намотки (рис. XIII.2.5, г, д).

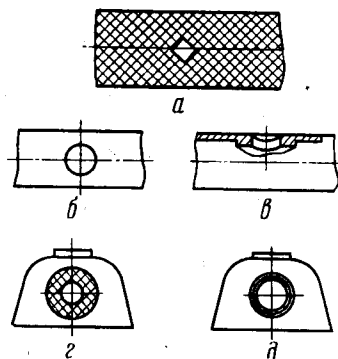


Рис. XIII.2.5. Конструктивное оформление отверстий в оболочках.

Примеры конструктивного исполнения деталей представлены на рис. XIII.2.6—XIII.2.8.

Сложность формы трубы канала воздуховода определяется изломом оси в конической части изделия, что усложняет расчет программы намотки и не позволяет получить плотный пакет заготовки с постоянной толщиной стенки (рис. XIII.2.6).

На рис. XIII.2.7 представлена часть секции трансмиссионного вала вертолета, изготовленного из углепластика методом намотки с последующим формованием в автоклаве. Деталь работает на кручение. Углепластиковая труба к металлическому

фланцу крепится с помощью клее-болтового соединения. Углепластик в местах соединения усилен фольгой.

На рис. XIII.2.8 показана комлевая часть лопа-

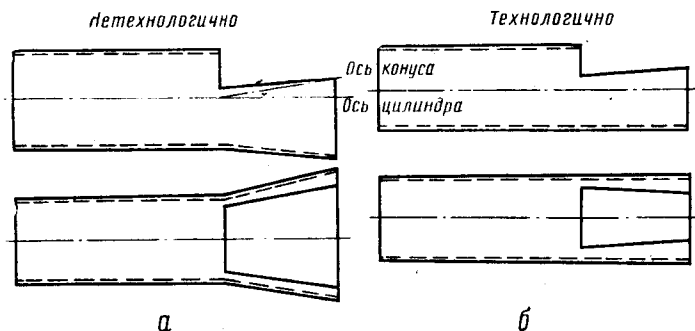


Рис. XIII.2.6. Схема трубы канала воздуховода.

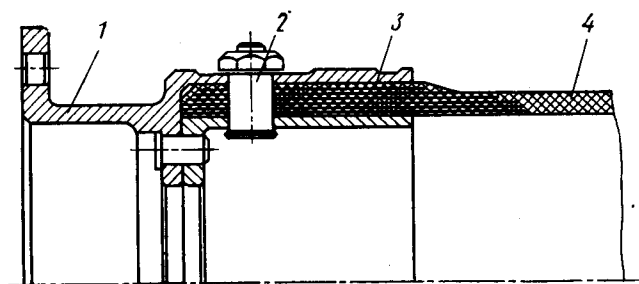


Рис. XIII.2.7. Конструкция секции трансмиссионного вала:

1 — фланец; 2 — болт; 3 — фольга титановая; 4 — углепластик.

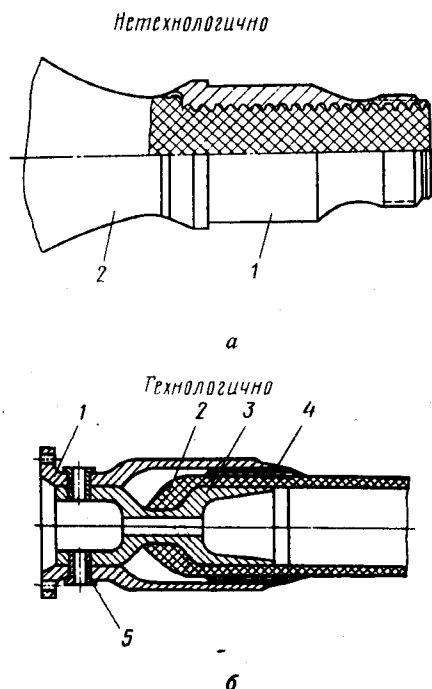


Рис. XIII.2.8. Схема конструкции комлевой заделки лопасти:

1 — наружный стакан; 2 — стеклопластиковый лонжерон; 3 — внутренний стакан; 4 — посадочные металлические пояса.

сти хвостового винта среднего вертолета. Для разгрузки наиболее слабого места металлической заматываемой втулки от изгибающих моментов на цилиндрическую часть напрессован металлический стакан. Посадочный размер под стакан обеспечивается шлифовкой титановых пластин, наклеенных на стеклопластиковую оболочку.

АВТОКЛАВНОЕ ФОРМОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ МЕТОДОМ ВЫКЛАДКИ И НАМОТКИ

Автоклавным формованием могут изготавливаться крупногабаритные детали сложной конфигурации из полимерных композиционных материалов (КМ).

Формование деталей из КМ рекомендуется проводить в автоклавах типа «АЭ», «Шольц», а также других, удовлетворяющих требованиям технологического процесса формования КМ.

Конфигурация и габариты деталей с оснасткой должны обеспечивать возможность формования их в имеющихся автоклавах (табл. XIII.4). Необходимо учитывать, что при использовании тележки диаметр загрузки уменьшается.

Конструкция детали должна обеспечивать по возможности простоту конструкции цулаг и сборки пакета для формования.

Предпочтительно, с точки зрения автоклавного формования, усиливающие утолщения выполнять со стороны формы (рис. XIII.2.9).

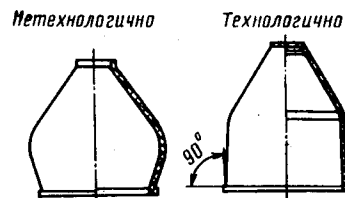


Рис. XIII.2.9. Схема усиливающих утолщений конструкции при автоклавном формовании.

Оснастка для автоклавного формования должна иметь достаточную жесткость, обеспечивающую получение деталей, удовлетворяющих требованиям к точности выполнения их форм и размеров (при минимальной массе оснастки).

Конструкция и материал оснастки должны быть герметичны и обеспечивать многократное формование деталей из КМ при температуре до 200°C и давлении до 1,0 МПа (10 кгс/см²).

Коэффициент теплового расширения формы должен быть близок к коэффициенту теплового расширения формируемой детали.

Оснастка должна обеспечивать равномерный прогрев деталей.

Форма должна обеспечивать возможность монтажа ограничительной рамки и вакуумной диафрагмы.

Оформляющие поверхности оснастки должны иметь шероховатость для форм $Rz \sqrt{20}$ до $Rz \sqrt{0,08}$, для цулаг не более $Rz \sqrt{20}$.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПРОПИТКИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Методом пропитки под давлением изготавливают детали типа баков ядохимикатов, радиопрозрачные обтекатели, теплозащитные покрытия летательных аппаратов.

Основные требования к технологичности деталей, изготавливаемых данным методом, аналогичны требованиям к деталям, изготавливаемым методом выкладки с последующим формованием.

Дополнительным требованием является обеспечение возможности изготовления деталей в форме без разъемов и вкладышей. Такая форма исключает затекание смолы и разгерметизацию пуансона и матрицы. На рис. XIII.2.10 приведены примеры технологичной и нетехнологичной конструкций обечайки баков ядохимикатов. Конструкция является нетехнологичной, если обечайка имеет обратный конус, что обуславливает необходимость разреза в матрице и пуансоне. Если обечайка не имеет обратного конуса и, кроме того, ее нижняя часть выполнена конусной, что облегчает съем изделия с пуансона, конструкция является технологичной.

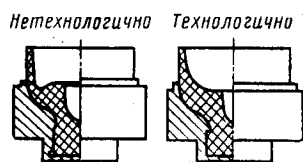


Рис. XIII.2.10. Конструктивное оформление обечайки баков ядохимикатов.

Использование метода пропитки под давлением при изготовлении баков ядохимикатов из стеклопластика (взамен нержавеющей стали) позволяет снизить массу детали на 30%, трудоемкость изготовления на 20%, увеличить ресурс детали в 5 раз.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ

Методом прессования изготавливают детали типа крыльев, коробок и др. Кромки деталей должны иметь скругления для предотвращения выкрашивания материалов и облегчения съема детали из пресс-формы.

На деталях типа крыла (толщина сечения ~20 мм) радиус скругления кромки обычно составляет 1—1,25 мм. Необходимо иметь плавный переход по толщине стенок конструкции, так как разнотолщинность в деталях из стеклопластика и большая масса металлической арматуры способствуют концентрации напряжений и образованию трещин. На рис. XIII.2.11 приведен пример конструктивного оформления днища.

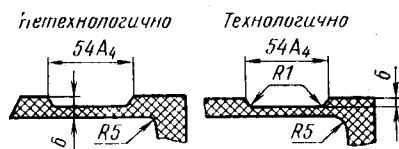


Рис. XIII.2.11. Конструктивное оформление днища.

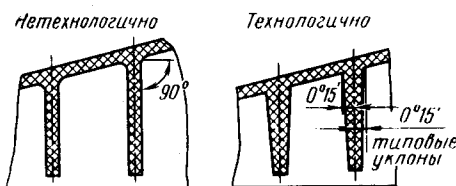


Рис. XIII.2.12. Конструктивное оформление узла детали крыла.

Конструкция детали не должна иметь поднутрений и прямых углов. Конструктивное оформление одного из узлов детали типа крыла приведено на рис. XIII.2.12.

Для обеспечения съема крупногабаритных деталей необходимо предусмотреть в конструкции технологические уклоны порядка 10—15°. На рис. XIII.2.13 показан узел крыла кессонной конструкции.

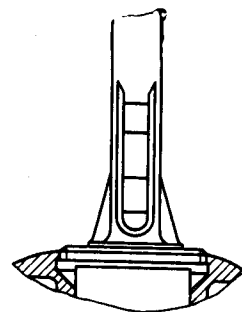


Рис. XIII.2.13. Конструктивное оформление крыла.

ТИПЫ СОЕДИНЕНИЙ

Выбор типа соединений неметаллических конструкций с конструкциями из других материалов (склейка, сварка, болтовые, винтовые, заклепочные соединения) должен производиться с учетом прочностных, технологических и эксплуатационных особенностей конструкций. На выбор соединения в каждом конкретном случае существенное влияние оказывают вид нагрузки (сдвиг, расслоение, отрыв), характер приложения нагрузки (изгиб, растяжение, сжатие, удар), конструктивная и технологическая характеристики соединяемых конструкций.

Для соединения деталей типа крыла с корпусом рекомендуется «вилкообразная» заделка.

Представленный на рис. XIII.8, а способ резьбового соединения с заполнением зазоров клеем К-153 является примером нетехнологичного соединения металлического стакана со стеклопластиковой лопастью. Для оформления резьбы требуется повышенное давление формования, которое сложно создать на границе металл—стеклопластик, что снижает прочность соединений и материала лопасти.

Механизированный метод намотки по геодезическим линиям позволяет изготавливать лопасти с надежной в эксплуатации и технологичной заделкой путем замотки композиционного материала за специальные элементы металлических втулок. Технологичная конструкция заделки лопасти представлена на рис. XIII.2.8, б.

ЛИТЕРАТУРА

РТМ-1.4.401—78. Изготовление деталей и агрегатов из полимерных композиционных материалов. НИАТ, 1979.

Глава 1. ВЫБОР СПОСОБОВ СОЕДИНЕНИЙ

Сборочные работы в самолетостроении весьма трудоемки, причем основная доля труда затрачивается на выполнение различного рода соединений.

Выбор способа соединения элементов конструкции в первую очередь определяется требованиями обеспечения качества, надежности и ресурса конструкции. Вместе с тем необходимо учитывать технологическое совершенство соединения, зависящее в основном от трудоемкости его выполнения в серийном производстве.

Соединение деталей, узлов, панелей и агрегатов самолета осуществляется клепкой, с помощью болтов, клеями, клееклепкой, сваркой и пайкой. Рассмотрим некоторые из этих соединений.

СОЕДИНЕНИЕ КЛЕПКОЙ

Рациональность соединения элементов конструкции клепкой, кроме перечисленных выше требований, определяется коэффициентом стоимости и затратами на установку одной силовой точки соединения. В табл. XIV.1.1 приводятся затраты и коэффициент стоимости на установку одной силовой точки.

Таблица XIV.1.1

Затраты и коэффициент стоимости на установку одной силовой точки соединения, выполненного различными способами

Способ соединения	Условные затраты на установку одной силовой точки, руб.	Коэффициент стоимости
Заклепки		
Автоматизированное выполнение операции технологического производства клепки. Сверление, зенкование вставки и расклепывание заклепок за один автоматический цикл	0,00099	1,3
Механизированное сверление и групповая прессовая клепка	0,00204	2,7
Ручное сверление и одиночная прессовая клепка	0,00256	3,3
Ручное сверление и ручная клепка	0,00371	4,7
Ручное сверление и односторонняя клепка	0,00371	4,7

Продолжение табл. XIV.1.1

Способ соединения	Условные затраты на установку одной силовой точки, руб.	Коэффициент стоимости
Сварные точки		
Сварка деталей:		
из алюминиевых сплавов на точечной машине;	0,00211	2,7
из нержавеющей стали на точечной машине;	0,00060	0,8
из алюминиевых сплавов на роликовой машине;	0,00079	1,0
из нержавеющей стали на роликовой машине	0,00033	0,43
Болты		
Сборка на болтах, классов:		
второго	0,02029	2,6
третьего	0,01691	2,2
четвертого	0,01341	17,6
пятого	0,01030	14

Коэффициент стоимости определяется отношением условной технологической себестоимости установки одной силовой точки при выбранном способе соединения элементов конструкции к условной технологической себестоимости установки одной силовой точки при РЭС алюминиевых сплавов.

Соединение деталей, узлов, панелей и агрегатов самолета клепкой является наиболее надежным и в настоящее время наиболее распространенным способом.

Широкое применение клепки объясняется тем, что другие соединения в ряде случаев пока еще уступают клепаным в прочностном, экономическом и технологическом отношениях. Однако трудоемкость изготовления заклепочных соединений еще достаточно высока и составляет 40—45% общей трудоемкости клепально-сборочных работ.

СОЕДИНЕНИЕ СВАРКОЙ

Сварка является одним из наиболее высокопроизводительных и экономичных методов создания неразъемных соединений, сравнительно легко поддающихся механизации и автоматизации.

Сварка позволяет создавать конструкции, наиболее рациональные по форме и размерам. По характеристикам такие конструкции мало отличаются от монолитных, обладают высокой весовой отдачей и максимальным коэффициентом использования металла. На современном уровне развития техники создание многих конструкций без применения сварки практически невозможно.

По сравнению с литыми заготовками сварные конструкции обладают более высоким уровнем прочностных показателей, а по сравнению с деталями, изготовленными горячей штамповкой или механической обработкой из монолитной заготовки, — значительно более высоким коэффициентом использования металла.

Применение точечной сварки взамен клепки обеспечивает при равных прочностных показателях (а в случае клеесварных соединений значительное повышение прочности) существенное снижение веса, трудоемкости и себестоимости изготовления конструкций. В качестве примера можно отметить, что при изготовлении стальных и титановых профилей из прессованной заготовки с механообработкой трудоемкость составляет 7,5 нормо-ч на 1 пог. м при КИМ=14%, а в штампо-сварном варианте эти характеристики составляют соответственно 0,97 нормо-ч на 1 пог. м и 98% при сохранении основных механических свойств.

Применение сварки сквозным проплавлением для изготовления ребристых панелей обеспечивает КИМ=85—90% вместо 7—12% при изготовлении их фрезерованием из плиты.

Эффективность применения контактной сварки в конструкциях из алюминиевых сплавов по сравнению с клепкой подтверждается данными табл. XIV.1.2.

Таблица XIV.1.2

Вид соединений	Технологическая себестоимость 1 пог.м шва, руб.	Условный относительный показатель изготовления 1 пог. м шва, %		
		трудоемкость	себестоимость	масса
Точечная сварка	0,0693	100	100	100
Точечная сварка с применением клея	0,0815	151	119	110
Механизированное сверление и групповая прессовая клепка с герметизацией	0,2029	560	290	143,5

Тем не менее при проектировании сварных конструкций необходимо учитывать, что сварка оказывает существенное влияние на исходные свойства основного материала. Во всех случаях механические свойства, как правило, снижаются. Кроме того,

в сварных конструкциях возникают остаточные напряжения и деформации, которые могут значительно уменьшать точность проектных размеров и искажать первоначальную форму. Сварные соединения создают концентраторы напряжений из-за неоднородности свойств металла шва и основного металла, а также в результате геометрических факторов.

БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Соединение деталей, узлов, панелей и агрегатов самолета болтами является одним из наиболее распространенных способов, качество которого в значительной мере определяет надежность и долговечность конструкции в целом.

Долговечность конструкции планера ограничивается усталостными разрушениями, причем около 80—85% из них происходит в местах соединений; увеличением их усталостной прочности прежде всего решается задача повышения надежности и ресурса создаваемых изделий.

Повышение выносливости болтовых соединений, наряду с выполнением требований минимальных затрат труда и средств их производства, составляет одну из основных задач, стоящих перед работниками КБ и предприятий отрасли.

Напряженное состояние в зонах силовых точек, благоприятствующее снижению концентрации напряжений, а тем самым и повышению ресурса соединения, может быть получено различными конструктивно-технологическими средствами: варьированием геометрических параметров швов, соотношений механических свойств материалов крепежных элементов и соединяемых деталей, величин натяга и сжатия элементов соединения, выбором рациональных способов выполнения отверстий, постановки болтов, затяжки гаек и т. д.

Основными путями повышения выносливости, совершенствования конструкций болтовых соединений на изделиях являются:

— создание соединений с возможно более равномерным распределением нагрузки между рядами крепежа (изменение толщины соединяемых элементов, размещение крепежа в шахматном порядке, выбор диаметров и материалов крепежа и т. д.);

— снижение эксцентриситета (или во многих местах его устранение) плоскостей жесткости и приложения силы, что предотвращает изгиб в местах стыка;

— изыскание новых форм крепежа (болты, болт-заклепки), которые обеспечивали бы наилучшие характеристики прочности соединения;

— увеличение диаметральных натягов, упрочнение отверстий под болты, обеспечивающие эффект уменьшения действующей амплитуды растягивающих напряжений на поверхности стенок отверстия;

— увеличение стяжки пакета за счет повышения усилия затяжки болтов, в результате чего силы трения в плоскости стыка соединения возрастают;

— применение методов местного упрочнения силовых точек, гнезд под головки болтов потайных соединений;

— обеспечение при сборке прилегания стыкуемых поверхностей, так как зазоры способствуют появлению дополнительных напряжений изгиба, увели-

чению контактных давлений и интенсификации развития фреттинг-коррозии при циклических нагрузках;

— обеспечение на всех этапах технологического процесса выполнения болтовых соединений стабильно высокого качества за счет применения высокоэффективных методов, прогрессивных конструкций инструмента и средств механизации обработки отверстий и постановки болтов;

— широкое конструктивно-технологическое членение узлов, агрегатов в целях обеспечения необходимых подходов к средствам механизации;

— разработка и внедрение титанового крепежа, болт-заклепок.

Применение в конструкциях стальных, титановых болтов с упругопластическим натягом, кроме основного эффекта — увеличения в 2—4 раза выносливости, обеспечивает герметичность соединений, что позволяет снизить массу соединяемых конструкций.

Широкое использование методов механизированного развертывания, протягивания точных отверстий, постановки болтов затяжными устройствами, запрессовкой ручными устройствами, затяжки гаек

гайковертами дает возможность значительно снизить трудоемкость выполнения высокоресурсных соединений в серийном производстве до уровня обычных соединений с зазором.

В табл. XIV.1.3 приводятся затраты на установку силовых точек.

Таблица XIV.1.3

Условные затраты на установку одной силовой точки, руб.

Способ соединения	Болтовые соединения (с зазором)	Высокоресурсные болтовые соединения (с натягом)
Сборка на болтах классов:		
второго	0,021	0,030
третьего	0,017	0,022
четвертого	0,014	—
пятого	0,010	—

Глава 2. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КЛЕПАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Клепанные соединения являются одним из распространенных способов соединения деталей, узлов, панелей и агрегатов самолета. Количество заклепок, устанавливаемых в конструкции планера современных самолетов, исчисляется десятками и сотнями тысяч. При этом требования к качеству выполнения клепаных соединений постоянно возрастают. Создание широкофюзеляжных самолетов-аэробусов ставит задачу повышения надежности и ресурса заклепочных соединений в несколько раз.

Анализ конструкций современных изделий показывает, что 75—90% соединений выполняются заклепками. Трудоемкость изготовления таких соединений еще достаточно высока и составляет 40—45% общей трудоемкости клепально-сборочных работ.

Значительная часть (40—60%) клепаных соединений выполняется ручным механизированным инструментом, что обуславливает высокую трудоемкость и не всегда нужное качество соединений. Применение ручного механизированного инструмента ударного действия приводит к профессиональным заболеваниям рабочих-клепальщиков.

Одним из основных путей сокращения профессиональной заболеваемости работающих и снижения трудоемкости выполнения клепаных соединений является создание технологичных конструкций узлов и агрегатов. Это позволит более эффективно использовать имеющееся и проектируемое высокопроизводительное оборудование для механизации и комплексной автоматизации операций по выполнению соединений.

Цель руководства — обеспечить конструкторов ОКБ систематизированными материалами по проектированию клепаных соединений, позволяющих разрабатывать новые конструкции самолетов повышенного ресурса с более высокой степенью технологич-

ности. Руководство содержит требования к конструкции при выполнении соединений:

- сплошными заклепками;
- высокоресурсными заклепками — заклепками с компенсатором и стержневыми;
- болт-заклепками, в том числе с натягом;
- заклепками для односторонней клепки.

Ниже изложено руководство по технологичности конструкций узлов, подлежащих обработке на сверльно-клепальных автоматах.

ТИПОВЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ УЗЛОВ И ОТСЕКОВ КЛЕПАННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Для обеспечения автоматизации и механизации, лучшего использования существующего и вновь создаваемого оборудования в табл. XIV.2.1 приведены основные характеристики узлов и отсеков с указанием моделей оборудования для выполнения заклепочных соединений, которыми следует руководствоваться при проектировании клепаных конструкций.

В табл. XIV.2.2. показана относительная трудоемкость и технологическая себестоимость изготовления клепаного шва в зависимости от применяемых средств автоматизации и механизации.

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КЛЕПАННЫХ УЗЛОВ, ОТСЕКОВ И АГРЕГАТОВ

1. Панели, узлы, отсеки и агрегаты необходимо проектировать с открытыми двусторонними подходами к месту клепки и с габаритными размерами,

позволяющими в процессе сверления, зенкования и клепки широко использовать высокопроизводительное оборудование, в том числе сверлильно-клепальные автоматы (см. табл. XIV.2.1).

Таблица XIV.2.2.

Относительная трудоемкость и технологическая себестоимость выполнения заклепочного соединения в зависимости от применяемых средств автоматизации и механизации, %

Применяемые средства автоматизации и механизации технологического процесса клепки	Трудоемкость изготовления шва	Технологическая себестоимость изготовления шва
Сверление и зенкование отверстий ручными сверлильными пневмомашинками; расклепывание заклепок пневмомолотками	100	100
Сверление и зенкование отверстий на радиально-сверлильном станке; одиночная клепка на прессах	48	32
Сверление и зенкование отверстий с помощью сверлильно-зенковальной установки; групповая клепка на прессах	23	21
Сверление и зенкование отверстий, вставка и расклепывание заклепок на автоматах; зачистка потайных головок на автоматах	10	22

2. Стрингеры в панелях в зависимости от конфигурации располагать:

а) на плоских и цилиндрических панелях по образующим параллельно друг другу;

б) на конических панелях (типа крыльевых) — по процентным линиям;

в) на панелях двойной кривизны — в плоскостях, проходящих через ось вращения отсека.

3. Стрингеры по периметру отсеков фюзеляжа разбивать через равные или кратные какой-либо величине промежутки (рис. XIV.2.1). Только при таком расположении стрингеров можно рационально использовать высокопроизводительное оборудование, в том числе сверлильно-клепальные автоматы.

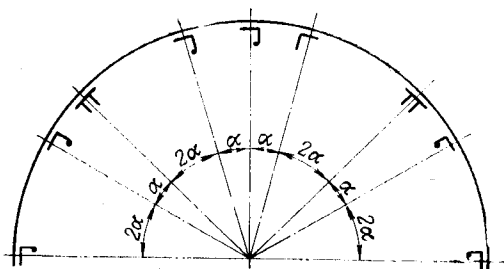


Рис. XIV.2.1. Разбивка стрингеров по периметру отсеков фюзеляжа.

4. Поперечные элементы жесткости располагать параллельно друг другу.

5. Расстояние между поперечными элементами жесткости назначать кратным шагу заклепок по стрингерам (рис. XIV.2.2).

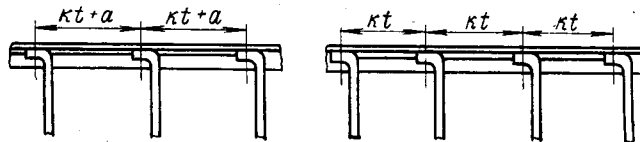


Рис. XIV.2.2. Расстояние между поперечными элементами жесткости:

t — шаг заклепок по стрингерам; k — любое целое число; a — любое число меньше шага ($a < t$).

6. В агрегатах (крыло, стабилизатор, киль) с разъемом по хорде выполнять стыковые швы внахлестку (рис. XIV.2.3, а), а не по фланцам (рис. XIV.2.3, б). Это устраняет необходимость применять при сборке специальные компенсаторы.

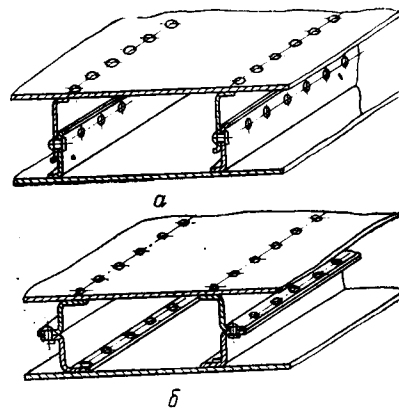


Рис. XIV.2.3. Способы соединения разрезных нервюр:

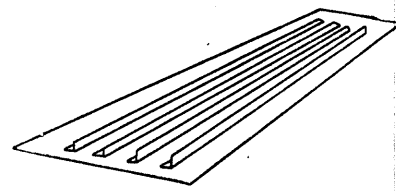
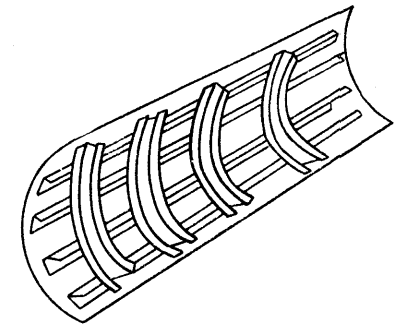
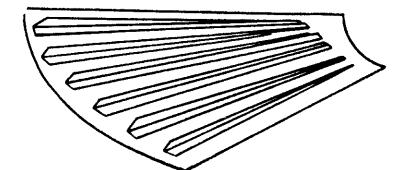
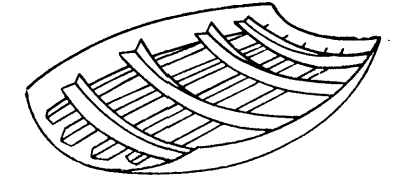
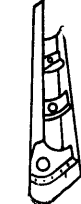
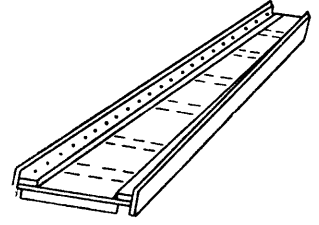
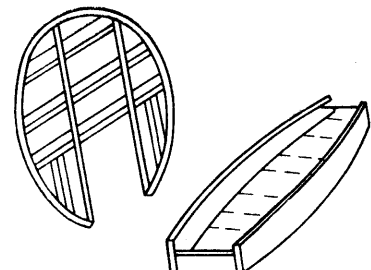
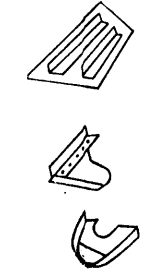
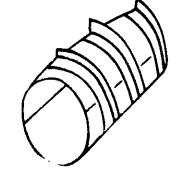
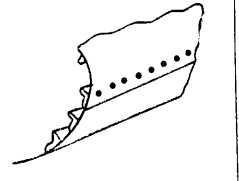
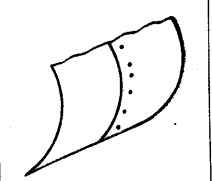
а — внахлестку; б — с помощью фланца.

7. Для продольных и поперечных элементов жесткости в узлах и агрегатах применять только открытые профили форм, приведенные на рис. XIV.2.4 (Профили прессованные. Каталог. ВИС, 1965—1966 гг.).

8. По возможности применять наименьшее количество разновидностей швов в пределах одного непанелированного отсека, панели или узла. Швы унифицировать с учетом применения постоянного шага, типа, диаметра и расположения заклепок или стержневых заклепок в одно-, двух- и многорядных швах в целях сокращения частых остановок стационарного оборудования, в том числе сверлильно-клепальных автоматов для ручных переделок — смены оснастки, инструмента, настройки на другие режимы клепки.

9. В узлах и панелях с переменной толщиной пакета, где нельзя обойтись без заклепок или стержневых заклепок двух, трех и более размеров и разных шагов, унифицировать швы по зонам (рис. XIV.2.5). Унификация швов улучшает условия применения сверлильно-клепального оборудования, в том числе автоматов с программным управ-

Типовые представители узлов и отсеков клепаной конструкции и варианты механизации выполнения заклепочных соединений

Наименование узлов и отсеков		панели																								Носовые отсеки типа крыльевых	Каркасные узлы										Отсеки		Стыковые швы																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		плоские							цилиндрические							конические							двойной кривизны							лонжероны					шпангоуты, нервюры					малогабаритные		типа каналов воздухозаборников	прямолинейные	криволинейные																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Эскиз																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Максимальные габаритные разме- ры, мм	длина	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	б. о.	б. о.	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000	2000	15 000	8500	13 500	30 000	18 000	10 000	20 000	10 000</

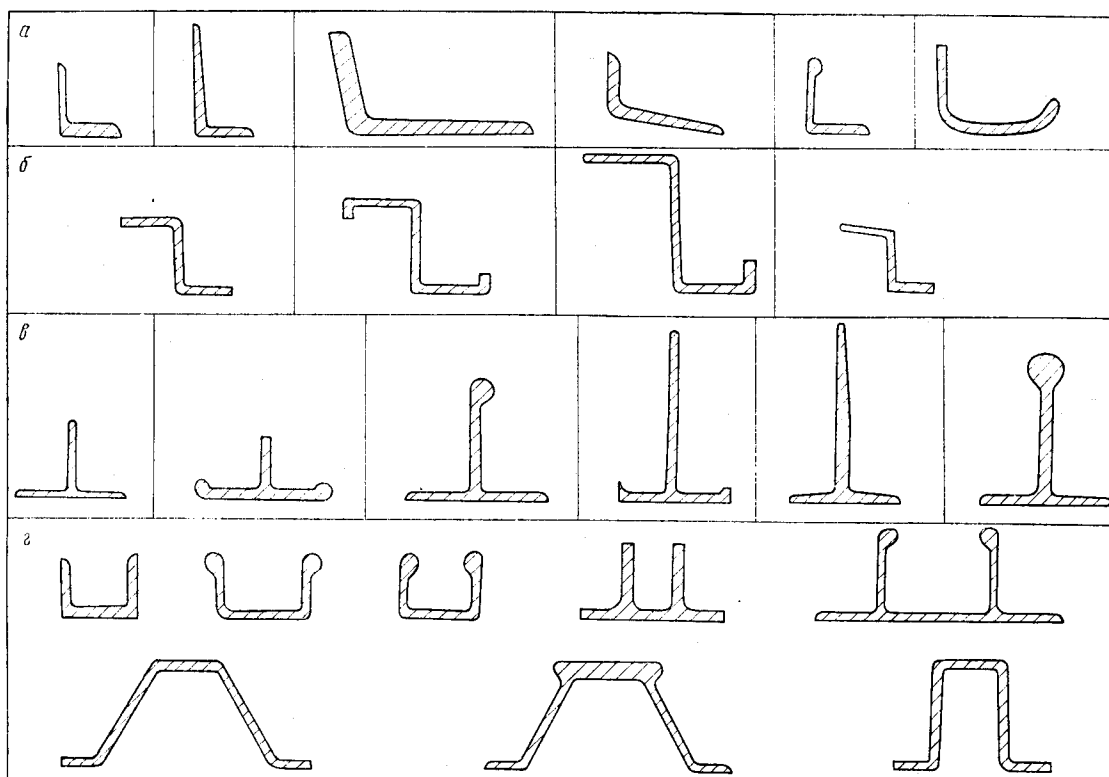


Рис. XIV.2.4. Поперечные сечения прессованных профилей:

а — угольники; б — профили зетовые; в — профили тавровые; г — швеллеры.

лением, и позволяет унифицировать оснастку и сократить ее количество, что существенно снизит время для настройки и переналадки оснастки при переходе на другой типоразмер крепежа.

или листа по условиям прочности должно быть не менее двух диаметров стержня заклепки, то есть $C \geq 2d$ (рис. XIV.2.7).

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81
82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99
100	101	102	103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132	133	134	135
136	137	138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151	152	153
154	155	156	157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168	169	170	171
172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189
190	191	192	193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240	241	242	243
244	245	246	247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258	259	260	261
262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279
280	281	282	283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294	295	296	297
298	299	300	301	302	303	304	305	306
307	308	309	310	311	312	313	314	315
316	317	318	319	320	321	322	323	324
325	326	327	328	329	330	331	332	333
334	335	336	337	338	339	340	341	342
343	344	345	346	347	348	349	350	351
352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369
370	371	372	373	374	375	376	377	378
379	380	381	382	383	384	385	386	387
388	389	390	391	392	393	394	395	396
397	398	399	400	401	402	403	404	405
406	407	408	409	410	411	412	413	414
415	416	417	418	419	420	421	422	423
424	425	426	427	428	429	430	431	432
433	434	435	436	437	438	439	440	441
442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459
460	461	462	463	464	465	466	467	468
469	470	471	472	473	474	475	476	477
478	479	480	481	482	483	484	485	486
487	488	489	490	491	492	493	494	495
496	497	498	499	500	501	502	503	504
505	506	507	508	509	510	511	512	513
514	515	516	517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528	529	530	531
532	533	534	535	536	537	538	539	540
541	542	543	544	545	546	547	548	549
550	551	552	553	554	555	556	557	558
559	560	561	562	563	564	565	566	567
568	569	570	571	572	573	574	575	576
577	578	579	580	581	582	583	584	585
586	587	588	589	590	591	592	593	594
595	596	597	598	599	600	601	602	603
604	605	606	607	608	609	610	611	612
613	614	615	616	617	618	619	620	621
622	623	624	625	626	627	628	629	630
631	632	633	634	635	636	637	638	639
640	641	642	643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654	655	656	657
658	659	660	661	662	663	664	665	666
667	668	669	670	671	672	673	674	675
676	677	678	679	680	681	682	683	684
685	686	687	688	689	690	691	692	693
694	695	696	697	698	699	700	701	702
703	704	705	706	707	708	709	710	711
712	713	714	715	716	717	718	719	720
721	722	723	724	725	726	727	728	729
730	731	732	733	734	735	736	737	738
739	740	741	742	743	744	745	746	747
748	749	750	751	752	753	754	755	756
757	758	759	760	761	762	763	764	765
766	767	768	769	770	771	772	773	774
775	776	777	778	779	780	781	782	783
784	785	786	787	788	789	790	791	792
793	794	795	796	797	798	799	800	801
802	803	804	805	806	807	808	809	810
811	812	813	814	815	816	817	818	819
820	821	822	823	824	825	826	827	828
829	830	831	832	833	834	835	836	837
838	839	840	841	842	843	844	845	846
847	848	849	850	851	852	853	854	855
856	857	858	859	860	861	862	863	864
865	866	867	868	869	870	871	872	873
874	875	876	877	878	879	880	881	882
883	884	885	886	887	888	889	890	891
892	893	894	895	896	897	898	899	900
901	902	903	904	905	906	907	908	909
910	911	912	913	914	915	916	917	918
919	920	921	922	923	924	925	926	927
928	929	930	931	932	933	934	935	936
937	938	939	940	941	942	943	944	945
946	947	948	949	950	951	952	953	954
955	956	957	958	959	960	961	962	963
964	965	966	967	968	969	970	971	972
973	974	975	976	977	978	979	980	981
982	983	984	985	986	987	988	989	990
991	992	993	994	995	996	997	998	999
1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008
1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017
1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026
1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035
1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044
1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053
1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062
1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071
1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080
1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089
1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098
1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107
1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116
1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125
1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134
1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143
1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152
1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161
1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170
1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179
1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188
1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197
1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206
1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215
1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224
1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233
1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242
1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251
1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260
1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269
1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278
1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287
1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296
1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305
1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314
1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323
1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332
1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341

13. Оси заклепок или стержневых заклепок в зоне подсежки и местах скруглений располагать от конца сбега или скругления на расстоянии a , которое не должно превышать половину диаметра D закладной или замыкающей головок заклепки или стержневой заклепки, то есть $a \geq 0,5D$ (рис. XIV.2.8).

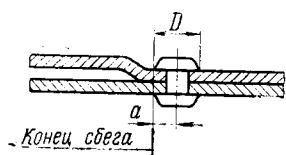


Рис. XIV.2.8. Расположение оси заклепки в зоне подсежки.

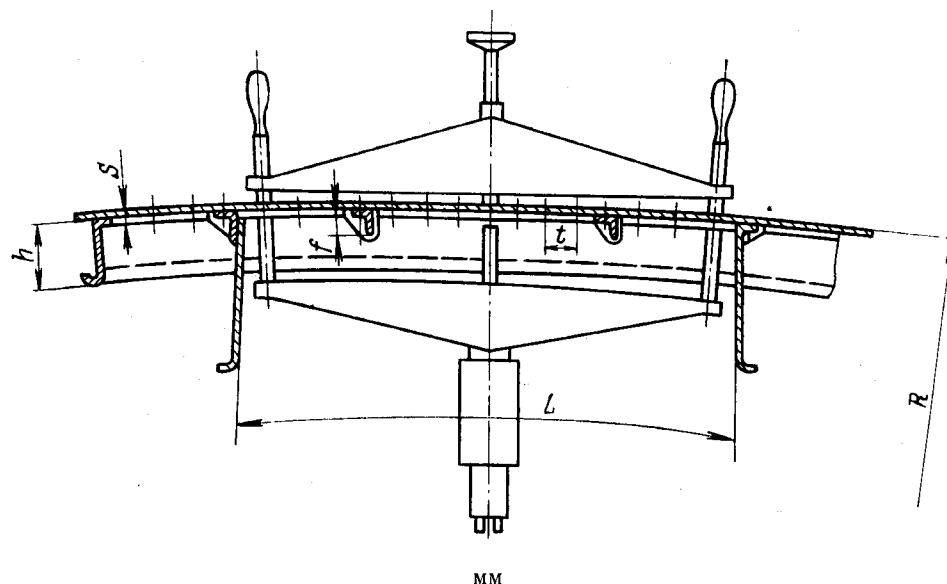
14. В целях обеспечения возможности применить прессовую клепку заклепок в стыковых швах при проектировании замкнутых контуров (отсеков и агрегатов) заклепки располагать, руководствуясь данными, указанными в табл. XIV.2.3.

15. При проектировании малогабаритных узлов (см. табл. XIV.2.1) следует руководствоваться данными, приведенными в табл. XIV.2.4, что позволит применить прессовую клепку заклепок на настольных прессах.

16. В целях широкого использования ручных клепальных прессов при проектировании узлов, отсеков и агрегатов следует руководствоваться данными

Таблица XIV.2.3

Основные характеристики стыковых швов, обеспечивающие возможность расклепывания заклепок из алюминиевых и магниевых сплавов переносными клепальными устройствами



Стыковые швы	Характеристика стыковых швов							Модели клепальных устройств
	Минимальная длина обрабатываемого участка L	Минимальный радиус кривизны шва R	Максимальная высота элементов каркаса, расположенных		Минимальный шаг заклепочного шва t	Диаметры расклепываемых заклепок d	Толщины склепываемых пакетов s	
			вдоль обрабатываемого участка шва h	поперек обрабатываемого участка шва f				
Прямолинейные	200	—	35	7	17,5	3	1,5—10,5	ПКУ3-ПЛ
				7		3,5	1,7—12,3	ПКУ3,5-ПЛ
				11		4	2,0—14,0	ПКУ4-ПЛ
				35		5	2,5—17,5	ГКУ4-ПЛ
				11				ПКУ5-ПЛ
				35				ГКУ5-ПЛ
				11		6	3,0—21,0	ПКУ6-ПЛ
				35				ГКУ6-ПЛ
				35	20			7
Криволинейные с постоянным радиусом кривизны	200	1500	100	35	17,5	4	2,0—14,0	ГКУ4-KL-R
					20	6	3,0—21,0	ГКУ-6-KL-R
						7	3,5—24,5	ГКУ7-KL-R

табл. XIV.2.5 и XIV.2.6. В табл. XIV.2.5 приняты следующие условные обозначения:

- l — расстояние от оси заклепки до края склепываемого пакета, мм;
- h_1 и h_2 — высоты стенок внешних профилей соответственно высокого и низкого, мм;
- t_1 и t_2 — расстояние от оси заклепки до стенок внешних профилей соответственно высокого и низкого, мм;
- τ° — угол наклона стенки внешнего профиля к плоскости пакета, град;
- θ_1 и θ_2 — высота полузакрытых профилей соответственно высокого и низкого, мм;
- $\pm \delta$ — расстояние от оси заклепки до края полки полузакрытого профиля (знак «+», если полка профиля не пересекает ось заклепки, знак «—», если пересекает), мм;
- θ_1 и θ_2 — высоты полузакрытых профилей соответственно низкого и высокого, мм;
- f_1 и f_2 — расстояния от оси заклепки до стенок внутренних профилей соответственно низкого и высокого, мм;
- $t_n, t_{n_2}, t_v, t_k, t_c, t_m$ — расчетные параметры, определяющие возможность установки пресса на расклепываемую заклепку, мм;
- P_1, P_2, \dots, P_{20} — характеристики ручных клепальных прессов (мм), рекомендуемых отраслевым типом.

Величины параметров элементов конструкций в зоне соединения назначать такими, чтобы удовлетворялись условия, определяющие возможность доступа ручного пресса к расклепываемой заклепке (см. табл. XIV.2.5 и XIV.2.6). Так, при клепке деталей, когда каркас расположен со стороны закладной головки заклепки, в зоне соединения допускается наличие внешнего профиля с любым значением высоты стенки h_1 , если удовлетворяется условие: при $\tau^\circ \leq 90^\circ$ $t_n > P_3$; при $\tau^\circ > 90^\circ$ $t_v > P_3$.

Высота стенки внешнего профиля h_1 должна быть больше величины P_4 , если $\tau^\circ < 90^\circ$, $t_n \leq P_3$, $(t_1 - P_3) \operatorname{tg} \tau^\circ > P_4$ и т. д.

17. Для оценки технологичности конструкции соединения условия применения ручных клепальных прессов (см. табл. XIV.2.5) следует конкретизировать подстановкой соответствующих величин характеристик P_1, P_2, \dots, P_{20} прессов (см. табл. XIV.2.6). Например, для соединений, выполняемых заклепками из алюминиевых сплавов диаметром до 3 мм, приведенные условия, ограничивающие величину параметра h_1 , принимают вид:

$$\tau^\circ < 90^\circ;$$

$$t_n \leq 8;$$

$$(t_1 - 8) \operatorname{tg} \tau^\circ > 25.$$

18. Следует учитывать, что совместное наличие в конструкции соединения внешнего и внутреннего профилей накладывает, как правило, на применение ручных клепальных прессов дополнительные условия (см. табл. XIV.2.5).

19. Не рекомендуется в одном соединении совмещать полузакрытый профиль и внутренний профиль с высотой стенки h_2 , так как конструкция такого соединения практически не позволяет установить ручной клепальный пресс на расклепываемую заклепку.

20. Минимальное расстояние от оси заклепки до стенок профилей открытого и полузакрытого типов, в том числе бульбообразных, определяется габаритными размерами ручного механизированного инструмента, выбирать по табл. XIV.2.7 и XIV.2.8.

21. В пакетах из разнородных материалов листы или профили из более прочного материала не следует располагать между листами, имеющими меньшую прочность (рис. XIV.2.9). В таких пакетах наблюдается увеличение диаметра отверстий со стороны входа сверла.

22. В заклепочных швах замыкающие головки располагать:

— со стороны материала большей толщины при однородных пакетах (рис. XIV.2.10, а);

— со стороны более прочного материала при разнородных пакетах (рис. XIV.2.10, б).

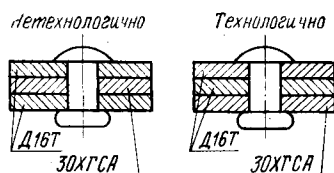


Рис. XIV.2.9. Расположение деталей в пакетах из разнородных материалов.

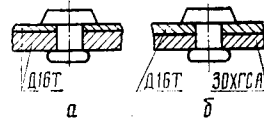
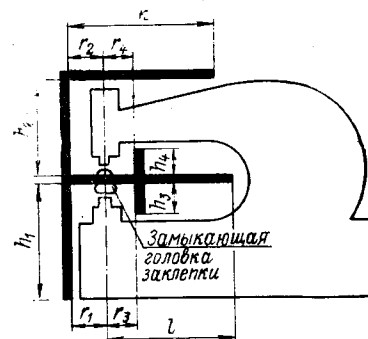


Рис. XIV.2.10. Расположение замыкающей головки со стороны материала большей толщины (а) или более прочного материала (б).

23. Следует ограничивать применение двусторонней потайной клепки, отличающейся более высокой трудоемкостью (на 12—15%) и более низким качеством шва по сравнению с обычной потайной клепкой. Для образования потайных замыкающих головок требуются усилия в 2 раза больше, чем для образования обычных бочкообразных замыкающих головок.

24. В соединениях, где по условиям работы замена двусторонней потайной клепки обычной невозможна, нужно применять заклепки с потайными головками по действующим ГОСТ 14798—75 ÷ 14799—75, но длину заклепки назначать согласно данным, приведенным в ПИ 249—78 (табл. XIV.2.9).

Основные характеристики мест расположения заклепок в конструкции малогабаритных узлов, обеспечивающие возможность расклепывания заклепок на настольных прессах



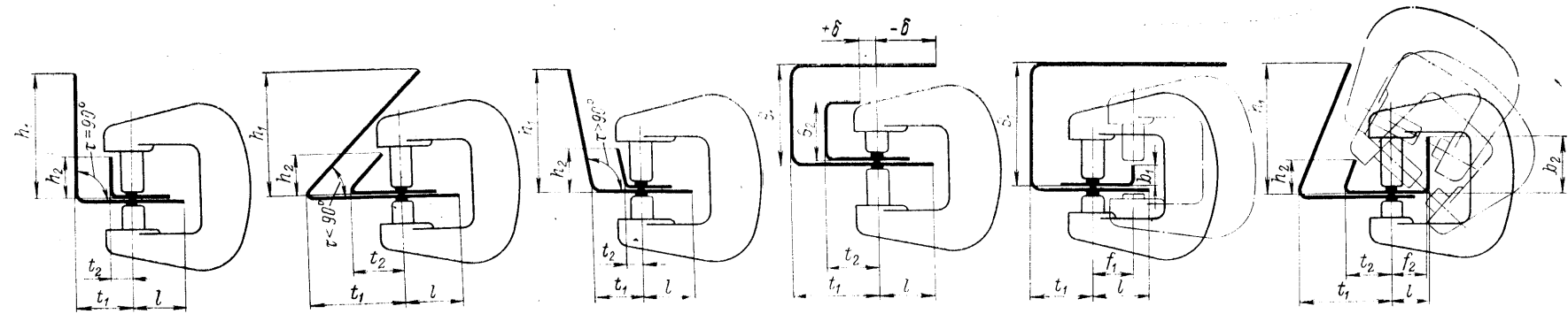
мм

Характеристика мест расположения заклепок в конструкции											Наибольшие диаметры расклепываемых заклепок из				Модели настольных прессов
Толщина склепываемых пакетов	$h_1 \max$	$r_1 \min$	$h_2 \max$	$r_2 \min$	k_{\max}	$h_3 \max$	$r_3 \min$	$h_4 \max$	$r_4 \min$	l_{\max}	алюми- ниевых сплавов	с т а л е й			
												10 и 15	20Г2	12Х18Н9Т	
1,7—14,0	18	12**	24	12**	0	18	12**	24	12**	245	7,0	6,0	4,0	3,5	ПНП-5,5
	28	16	33*	17	165	28	16	33*	17						
	68	18	∞	27		68	18	35*	27						
	70	26	∞	∞		70	26	83	38						
	71	33				71	33								
	162	38				83	38								
	183	45	∞	∞	∞	100	18	26*	17						
	470	49													
2,0—16,0	36	11**	8	11**	0	36	11*	8	11**	195	8,0	7,0	6,0	5,0	ПНГ-9
	102	18	26*	17	∞	180*	75	82							
	190	40	128*	30											
	252	44	143*	42											
	395	52	165*	60											
			180*	75											
	∞	82	∞												

* Даны без учета толщины склепываемого пакета. Фактически допускается высота профиля $h = h^* - s$, где s — толщина пакета.

** Разрешается уменьшать на 2 мм за счет доработки прижимной втулки.

Условия применения ручных клепальных прессов для выполнения заклепочных соединений



Основные условия при наличии в зоне соединения элементов конструкции с параметрами										Дополнительные условия при совместном наличии в зоне соединения элементов конструкции с параметрами						
l	t, h, τ°				θ, δ		f, b		$t, h, \tau^\circ, \theta, \delta, f, b$							
А. Закладная головка заклепки со стороны каркаса																
$l < P_1$ или $t_2 > P_2$	$t_1 > P_2$	h_1 — без ограничения величины		$h_1 > P_4$	$h_2 \leq P_5$	θ_1 без ограничения величины $\delta > P_3$	$\theta_1 > P_6$	$\theta_2 \leq P_6$	$f_1 > P_2$ или $f > P_2$	$b_1 \leq P_8$ или $b_2 \leq P_9$	$P_8 < h_2 \leq P_9$					
		$\tau^\circ \leq 90^\circ$	$\tau^\circ > 90^\circ$	$\tau^\circ < 90^\circ$	$P_2 < t_{H2} \leq P_3$			$\delta < P_3$			$h_1 > P_4 + 2b_1$	$\theta_1 > P_6 + 2b_1$	$\theta_2 < P_6 + 2b_1$	h_1 — без ограничения величины		$h_2 \leq t_{H2} + f_2 - P_{11}$
		$t_{H1} > P_3$	$t_B > P_3$	$t_{H1} \leq P_3$	$\frac{\theta_2 - P_4}{P_3 - \delta} > P_7$			$\tau^\circ < 90^\circ$			$\delta < P_3$		$\tau^\circ \leq 90^\circ$	$\tau^\circ > 90^\circ$		$t_{H2} < t_k$
		$t_{H1} = t_1 - h_1 \operatorname{ctg} \tau^\circ$ $t_B = t_1 - P_5 \operatorname{ctg} \tau^\circ$	$(t_1 - P_3) \operatorname{tg} \tau^\circ > P_4$	$t_{H2} = t_2 - h_2 \operatorname{ctg} \tau^\circ$				$t_{H1} \leq P_3$			$\frac{\theta_2 - 2b_1 - P_4}{P_3 - \delta} > P_7$		$t_{H1} > t_k$	$t_1 > t_k$	$t_{H1} > t_k$	
		$t_k = 0,7b_2 - f_2 + P_{10}$		$t_k + f_2 - P_{11} > (t_1 - t_k) \operatorname{tg} \tau^\circ$												
Б. Замыкающая головка заклепки со стороны каркаса																
$l < P_1$ или $t_2 > P_{12}$	$t_1 > P_{12}$	h_1 — без ограничения величины		$h_1 > P_{14}$	$h_2 \leq P_{15}$	θ_1 без ограничения величины $\delta > P_{13}$	$\theta_1 > P_{14}$	$f_1 > P_{12}$ или $f_2 > P_{16}$	$b_1 \leq P_{17}$ или $b_2 \leq P_{18}$	$\theta_1 \leq P_{17}$	$P_{17} < b_2 \leq P_{18}$					
		$\tau^\circ \leq 90^\circ$	$\tau^\circ > 90^\circ$	$\tau^\circ < 90^\circ$	$P_{12} < t_{H2} \leq P_{13}$			h_1 — без ограничения величины			$h_2 \leq t_{H2} + f_2 - P_{20}$					
		$t_{H1} > P_{13}$	$t_C > P_{13}$	$t_{H1} \leq P_{13}$	$t_{H2} < t_m$											
		$t_{H1} = t_1 - h_1 \operatorname{ctg} \tau^\circ$ $t_C = t_1 - P_{15} \operatorname{ctg} \tau^\circ$	$(t_1 - P_{13}) \operatorname{tg} \tau^\circ > P_{14}$	$t_{H2} = t_2 - h_2 \operatorname{ctg} \tau^\circ$				$t_{H1} > t_m$			$t_{H1} > t_m$	$t_{H1} > t_m$				
		$t_m = 0,7b_2 - f_2 + P_{19}$		$t_m + f_2 - P_{20} > (t_1 - t_m) \operatorname{tg} \tau^\circ$												

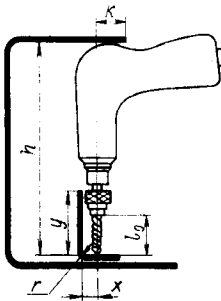
Исходные данные для определения возможности применения ручных клепальных прессов
мм

Характеристики соединений					Характеристики ручных клепальных прессов, рекомендуемых отраслевым типажом																				Модели ручных клепальных прессов
диаметры заклепок из				толщина склепывае- мых паке- тов	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	P_{17}	P_{18}	P_{19}	P_{20}	
алюми- ниевых сплавов	сталей 10 и 15	стали 20ГА	стали Х18Н9Т																						
2,6 3,0	2,6	—	—	1,3—10,5	100	5	8	25	40	45	0,364	10	40	27	12	6	12	85	45	8	10	60	49	17	ПБ1,1; ПБУ1,1; ПК1,1; ПКУ1,1; ПТ1,1; ПТО1,1
3,5 4,0	3,0 3,5	—	2,6	1,3—14,0	100	6	9	30	60	55	0,364	12	60	32	13	7	13	95	65	9	12	80	54	19	ПБ2,2; ПБУ2,2; ПК2,2; ПКУ2,2; ПТ2,2; ПТО2,2
5,0	4,0	3,5	3,0	1,5—17,5	125	7	10	35	60	65	0,364	27	55	37	14	8	13	115	60	11	27	75	66	19	ПБ3,4; ПБУ3,4; ПКУ3,4; ПТ3,4; ПТО3,4; ГБ3,4; ГК3,4; ГТ3,4; ГТО3,4
6,0	5,0	4,0	3,5	3,0—21,0	150	9	11	35	55	75	0,466	31	50	39	16	9	13	130	60	12	31	70	82	19	ГБ4,5; ГК4,5; ГТ4,5; ГТО4,5
7,0	6,0	5,0	4,0	3,5—24,5	150	10	12	40	70	85	0,577	34	60	44	17	10	40	205	115	10	34	115	151	54	ГБ5,8
8,0	7,0	—	—	4,0—28,0	150	11	13	45	70	95	0,577	38	60	49	19	11	40	225	90	11	38	90	166	58	ГБ7,3
—	—	6,0	5,0	3,0—21,0	125	9	11	50	60	105	0,577	31	55	49	16	11	45	220	120	11	31	120	169	64	ГБ9,0

Таблица XIV.2.7

Основные характеристики мест конструкций, обеспечивающие возможность сверления отверстий и зенкование гнезд ручными пневматическими сверлильными машинами

мм

Эскиз	Характеристика обрабатываемых мест конструкции						Модель ручной сверлильной машины
	наиболь- ший диаметр отвер- стия, <i>d</i>	координаты расположения отверстий					
		<i>x</i> _{min}	<i>y</i> _{max}	<i>k</i> [*] _{max}	<i>h</i> ^{**} _{min}	<i>h</i> — <i>l</i> ₀	
	6	18 24	50 ∞	24	255	195	СМ-11-6-3600
	9	19 30	85 ∞	30	290	210	СМ21-9-2500
	6	18 29	80 ∞	30	320	260	СМ21-6-12 000
	3	18 24	70 ∞	24	220	188	СМ11-3-18 000
	6	18 24	110 ∞	24	235	175	СМ11-6-700
	9	23 30	140 ∞	30	345	265	СМ21-9-300
	9	19 24	50 ∞	24	260	180	ИП-1011
	12	34 30	85 ∞	30	320	220	ИП-1019
	14	10 35	24 ∞	0	600	490	ИП-1021
	14	11 40	∞	0	600	490	ИП-1022
	6	12	∞	90 150	60 100	35 75	УСМ12-6-3000
	8	18	∞	85 ∞	115 175	40 100	УСМ21-20М
	6	18	∞	80	160	100	СМУ21-6-500
	6	18	∞	75	155	95	СМУ11-6-1700
	9	19	∞	30	250	170	ИП-1104

Примечания:

- С увеличением размера k высота h возрастает на величину захвата инструмента рукой.
- Размер h включает длину l_0 режущей части сверла максимального диаметра:
— средней серии для машин с рукояткой пистолетного типа и замкнутой;
— короткой серии — для угловых машин.
- При величине h , равной длине режущей части сверла l_0 , минимальное расстояние x от оси отверстия до стенки профиля равно $0,5d$ сверла $+r+3$ мм, где r — радиус гибки профиля, мм.

Таблица XIV.28

Основные характеристики мест конструкций, обеспечивающие возможность расклепывания заклепок пневматическими молотками

мм

Эскиз	Характеристика обрабатываемых мест конструкций																Модель пнев- матических молотков	
	наибольшие диаметры d расклепываемых заклепок из													координаты расположения заклепок				
	алюминиевых сплавов					сталей 10 и 15					сталей 12Х18Н9Т и 20Г2			x_{min}	y_{max}	k_{max}		h_{min}
	в пакетах толщиной до																	
	$1d$	$1,5d$	$2d$	$2,5d$	$3d$	$1d$	$1,5d$	$2d$	$2,5d$	$3d$	$0,5d$	$1d$	$1,5d$					
	4,0	3,5				3,0				2,6		11 22	30 8	22	155	КМП-14		
	5,0	4,0				3,5				11 24	30 8	24	195	КМП-24				
	6,0				5,0				4,0		14 27	30 8	27	268	КМП-32			
	7,0				6,0				6,0		14 31 40 70	40 200 250 ∞	0	∞	КМ-32			
	3,5				3,0				2,6		11 17 20	20 27 ∞	20	114	КМУ-13			

Примечания:

- С увеличением размера k высота h возрастает на величину захвата инструмента рукой.
- Размер h включает длину выступающей части стержня заклепки, вставленной в пакет.

Таблица XIV.29

Подбор длин заклепок при двусторонней потайной клепке

d	3	3,5	4	5	d
5	Длины заклепок L				5
2					2
3	5				3
4	6	6			4
5	7	7	7	8	5
6	8	8	8	9	6
7	9	9	9	10	7
8	10	10	10	11	8
9	11	11	11	12	9
10	12	12	12	13	10
11	13	13	13	14	11
12		14	14	15	12
13		15	15	16	13
14		16	16	17	14
15			17	18	15
16			18	19	16
17				20	17
18				21	18
				22	
				23	

Примечание. Длины заклепок подбирать следующим образом: приложить линейку к делениям шкал (справа и слева), соответствующим толщине пакета; цифры в прямоугольниках, пересекаемых линейкой, показывают требуемую длину заклепки соответствующего диаметра. Пунктиром показан пример выбора длины заклепки для толщины пакета $s=5$ мм

при диаметре заклепки $d=3$ мм, $L=7$ мм,» » » $d=3,5$ мм, $L=7$ мм,» » » $d=4$ мм; $L=8$ мм,» » » $d=5$ мм, $L=9$ мм.

25. При проектировании заклепочных соединений с двусторонней потайной клепкой рекомендуется на поверхностях склепываемых пакетов чередовать закладные и замыкающие головки заклепок (рис. XIV.2.11), так как это уменьшает деформацию элементов пакета.

26. В целях применения прессовой клепки клиновидных пакетов с двусторонним потаем угол клиновидности не должен превышать 6° . Увеличение угла клина позволяет использовать только ударную клепку.

27. При двусторонней потайной клепке клиновидных пакетов независимо от угла клина заклепки в соединении располагать перпендикулярно хорде пакета, причем оси гнезд должны быть перпендикуляр-

ны к поверхности пакета в данной точке (рис. XIV.2.12).

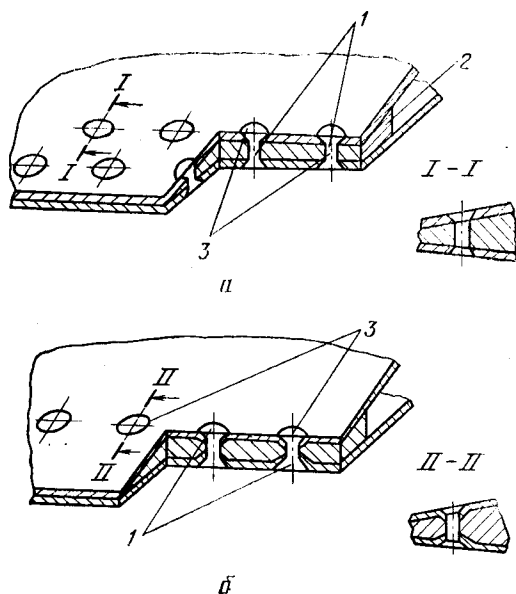


Рис. XIV.2.11. Чередование закладных и замыкающих головок при двусторонней потайной клепке:

а — двухрядный шов с зенкованием гнезд в обшивках; б — однорядный шов со штампованными гнездами; 1 — замыкающие головки; 2 — концевой стрингер; 3 — закладные головки.

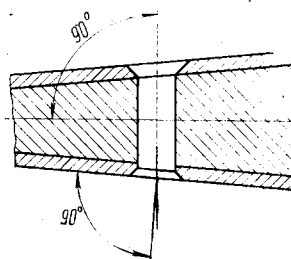


Рис. XIV.2.12. Расположение осей заклепок и зенкованных гнезд в клиновидном пакете.

28. В законцовках крыла и хвостового оперения длину заклепок следует сокращать за счет уменьшения ширины вкладыша и применения в закрытых местах заклепок для односторонней клепки (рис. XIV.2.13).

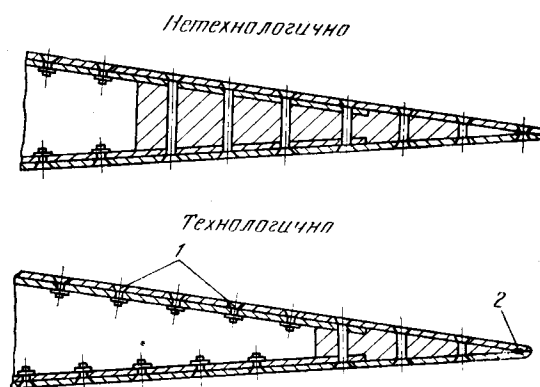
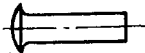
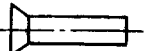
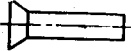
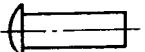
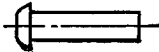
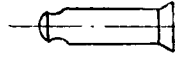
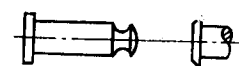



Рис. XIV.2.13. Конструктивное решение клепки законцовок крыла и хвостового оперения: 1 — заклепки для односторонней клепки; 2 — точечная электросварка.

Таблица XIV.2.10

Применяемые заклепки

Стандарт или нормаль				Э с к и з	Рекомен- дуемые диа- метры d , мм	
наименование		номер				
Заклепки сплошные повышенного качества	С полукруглой головкой		ГОСТ 14797—75 (или 3515А÷3517А; 3519А; 3521А; 3522А÷3525А)		1—10	
	С потайной головкой	угол, град	90	ГОСТ 14798—75 (или 3531А÷3533А; 3535А; 3537А÷3541А)		1—10
			120	ГОСТ 14799—75 (или 3547А; 3548А; 3551А; 3552А)		2—6
	С плоско-выпуклой го- ловкой		ГОСТ 14800—75 (или 3558А÷3560А; 3563А; 3564А)		2—8	
	С плоской головкой		ГОСТ 14801—75 (или 3501А÷3503А; 3506А÷ ÷3508А)		2—10	

Стандарт или нормаль				Э с к и з	Рекомен- дуемые диа- метры d , мм
наименование		номер			
Заклепки высокого сопротив- ления срезу с двусторон- ним подходом	С потайной головкой (угол 90°)	АН-1479 *	2032A55		5—12
			2036A55		
			2037A55		
	С плоской головкой		2034A55		5—12
			2038A55		
			2039A55		
	Кольцо обжимное		2035A55		—

Примечание. Заклепки ограничены в применении для новых конструкций изделий.

29. При выборе типоразмеров заклепок следует руководствоваться Государственными стандартами на заклепки повышенного качества ГОСТ 14797—75—ГОСТ 14803—75 (или АН-1642), согласно которым каждый тип заклепки в зависимости от конструкции, формы головки и материала имеет свой шифр (табл. XIV.2.10). Временное сопротивление срезом заклепок в зависимости от материала по ГОСТ 14803—75 указано в табл. XIV.2.11.

Таблица XIV.2.11

Временное сопротивление срезом заклепок по ГОСТ 14803—75 и АН-1479

Заклепки	Материалы и их марки		Временное сопротивление срезом, кгс/мм ² , не менее
ПО ГОСТ 14797—75 . . . ГОСТ 14801—75	алюминиевые сплавы	B65	25 — для заклепок с d 1,6—7,0 мм 24,5 — для заклепок с d 8,0—10,0 мм
		D18	19
		D19П	28 — для заклепок с d 1,6—6,0 мм 27 — для заклепок с d 7,0—8,0 мм
		АМг5П	16
		АД1	—
		АМц	—
	стали	10; 15	34
		20Г2	50
		12Х18Н9Т	44
		латунь Л63	—
		латунь Л63 антимагнитная	—
		медь М2	—
По АН-1479	сталь 30ХГСА		72

30. Данные о прочности соединений при статических и повторно-статических нагрузках с различными типами закладных головок приведены на рис. XIV.2.14.

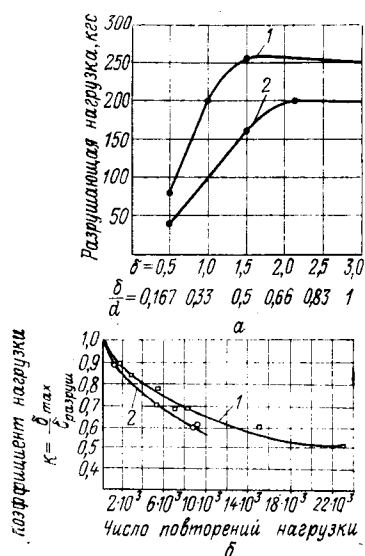


Рис. XIV.2.14. Влияние типа заклепок, применяемых в соединениях, на прочность шва при статических и повторно-статических нагрузках:

а — кривые зависимости разрушающей нагрузки на отрыв от толщины листа для различных типов заклепок; 1 — для заклепок с выступающими головками; 2 — для заклепок с потайными головками; б — прочность соединений с различными типами заклепок при испытании повторно-статическими нагрузками на срез; 1 — соединение заклепками с выступающими головками; 2 — соединение заклепками с потайными головками; δ — толщина листа; d — диаметр заклепки.

31. В целях использования сверлильно-клепальных автоматов, стационарных прессов для одиночной и групповой клепки, ручных клепальных прессов, а также сокращения номенклатуры инструмента и приспособлений для постановки заклепок следует сокращать количество типоразмеров заклепок, применяемых в конструкциях, путем унификации их по типам головок, маркам материалов, диаметрам и длинам стержней. Для этого рекомендуется

— в каркасных узлах планера самолета применять преимущественно заклепки с плоскими головками (заклепки с полукруглыми и плоско-выпуклыми головками применять в исключительных случаях);
— на обшивках, где по условиям эксплуатации допускаются заклепки с выступающими головками,

не применять заклепки с потайными головками, для постановки которых требуется дополнительная операция по образованию гнезд.

32. В пакетах с сочетанием деталей из легких сплавов, а также из легких сплавов и стали рекомендуются заклепки из алюминиевых сплавов. Большие усилия клепки (табл. XIV.2.12), необходимые для расклепывания стальных заклепок, вызывают значительные деформации пакетов из легких сплавов.

Таблица XIV.2.12

Требуемые усилия клепки при выполнении соединений на прессах

Усилия клепки, кгс, заклепок								
из материала	диаметром, мм							
	2,6	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Алюминиевые сплавы	800	1100	1500	2100	3400	3900	5400	7300
Стали:								
15, 10	1100	1700	2000	2800	4200	5200	7300	—
20Г2	—	—	3400	4300	5800	8000	—	—
12Х18Н9Т	2200	3200	4500	5800	8800	—	—	—

33. В пакетах с сочетанием деталей, из титановых сплавов, нержавеющей и жаропрочных сталей рекомендуется применять заклепки из сталей 20Г2, 12Х18Н9Т, сталь 10, сталь 15.

34. Длины заклепок подбирать в зависимости от их диаметров и толщин склепываемых пакетов по ГОСТ 14802—75: «Подбор длин, размеры замыкающих головок и диаметры отверстий под заклепки». Для обеспечения стабильного качества заклепочных соединений толщины пакетов не должны превышать трех диаметров заклепки при ударном способе клепки и четырех диаметров при прессовом способе.

35. Для потайных заклепочных соединений заклепки рекомендуется подбирать так, чтобы высота h закладной головки была меньше толщины δ_1 обшивки. При толщине обшивки, равной высоте закладной головки, наблюдается значительное снижение прочности (рис. XIV.2.15). При толщине обшивки $\delta_1 > h$ можно применять заклепки с углом конуса головок 90 и 120°, при толщине обшивки $\delta_1 < h$ — с углом конуса головок 120°. Высота закладных головок потайных заклепок для различных диаметров и углов конуса головок приведена в табл. XIV.2.13.

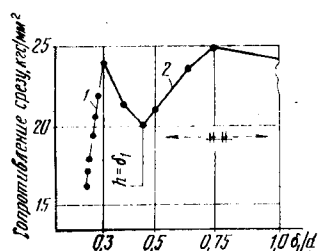


Рис. XIV.2.15. Изменение прочности соединений, выполненных потайными заклепками с углом конуса 90°, в зависимости от отношения δ_1/h : 1 — разрушение листа; 2 — разрушение заклепки.

Таблица XIV.2.13

Высота закладных головок потайных заклепок, мм при					
номинальном диаметре заклепок, мм	угле конуса заклепок, град.		номинальном диаметре заклепок, мм	угле конуса головок, град.	
	120	90		120	90
1,0	—	0,5	4,0	1,2	1,6
1,4	—	0,7	5,0	1,4	2,0
1,6	—	0,7	6,0	1,7	2,4
2,0	—	1,0	7,0	—	2,8
2,6	0,9	1,1	8,0	—	3,2
3,0	1,0	1,2	—	—	—
3,5	1,07	1,4	—	—	—

36. В потайных заклепочных соединениях выполнение гнезд под головки потайных заклепок в зависимости от толщины соединяемых деталей, образующих пакет, производится

— зенкованием при толщине наружной детали (обшивки), превышающей высоту закладной головки (рис. XIV.2.16, а);

— штамповкой при толщине наружной детали (обшивки), меньшей или равной высоте закладной головки заклепки, но не более 1,2 мм (рис. XIV.2.16, б);

— штамповкой в обшивке и зенкованием в карасе при толщине последнего, большей высоты закладной головки заклепки (рис. XIV.2.16, в).

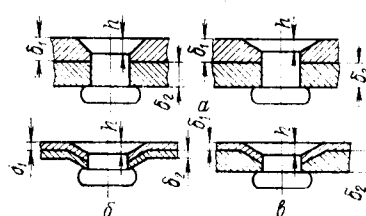


Рис. XIV.2.16. Способы выполнения гнезд под потайные головки заклепок: а — зенкованием; б — штамповкой; в — штамповкой в одной детали, зенкованием в другой детали.

37. При выборе способа образования гнезд под головки потайных заклепок следует учитывать, что трудоемкость изготовления швов со штампованными гнездами гораздо выше по сравнению с изготовлением швов с зенкованными гнездами из-за

— необходимости разборки и повторной сборки при раздельной штамповке;

— дополнительной операции обработки отверстий (рассверливания) после штамповки.

Вследствие этого в местах, где позволяет конструкция соединения, следует применять заклепки с плоско-выпуклыми головками или предусматривать утолщения в местах расположения швов, получаемые методом травления, приклеиванием металлических лент и другими методами, для возможности зенкования гнезд в одном из элементов соединения, а также применять точечную или роликовую электросварку как более производительные способы

соединения деталей (рис. XIV.2.17). Трудоемкость выполнения соединений различными способами приведена в табл. XIV.2.14.

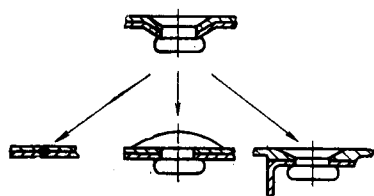


Рис. XIV.2.17. Возможные варианты замены соединений со штампованными гнездами.

Таблица XIV.2.14

Трудоемкость изготовления соединений различными способами

Способы соединения	Трудоемкость изготовления соединения, %
Заклепками, имеющими плоско-выпуклые головки (со сверленными отверстиями)	100
Потайными заклепками, выполненными	
с зенкованными гнездами	120
со штампованными гнездами	190
с зенкованными в каркасе и штампованными в обшивке гнездами	210
Точечной электросваркой	33
Роликовой электросваркой	17

38. В случае выполнения гнезд под головки потайных заклепок способом штамповки необходимо предусматривать возможность разборки соединений.

39. Следует избегать штамповки гнезд в деталях из сплавов В95Т, В93 и МА8 в связи с большой трудоемкостью их изготовления из-за необходимости подогрева штампуемой зоны.

40. Не применять штамповку гнезд в прессованных профилях.

41. Для клепки пакетов, содержащих детали из композиционных материалов (КМ), таких как стеклотекстолиты, углепластики, рекомендуется применять полупустотелые заклепки (табл. XIV.2.15, ОСТ 1.34006—78, ОСТ 1.34007—78).

Наличие в стержне заклепки глухого отверстия обеспечивает снижение усилия расклепывания (рис. XIV.2.18), уменьшение раздачи стержня заклепки и повышение выносливости соединения (рис. XIV.2.19).

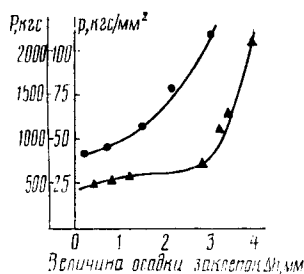


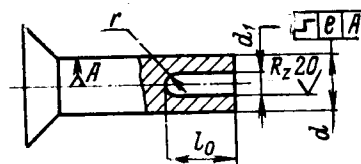
Рис. XIV.2.18. Зависимость усилия расклепывания P и удельного давления p от величины осадки заклепки Δh :

— заклепка диаметром 4 мм, сталь 15 обычная с шайбой;
 Δ — заклепка диаметром 4 мм, сталь 15 полупустотелая с шайбой.

Таблица XIV.2.15
Эскиз и размеры полупустотелых заклепок

мм

Материалы Д19, В65
 Сталь 15, 12Х18Н9Т



d	Номинальный	3,0	3,5	4,0	5,0
	Допускаемое отклонение	+0,1			
d_1	Номинальный	1,5	1,7	2,0	2,5
	Допускаемое отклонение	-0,06			
l_0	Номинальный	3,0	3,5	4,0	5,0
	Допускаемое отклонение	$\pm 0,10$			
l	Несоосность диаметров	0,05		0,07	

Примечания: 1. Размеры d_1 и l_0 рассчитаны из условия равнопрочности закладных и замыкающих головок.

2. Форма дна отверстия — радиусная с $r=0,5d$, но может быть конусной с углом $90-120^\circ$.

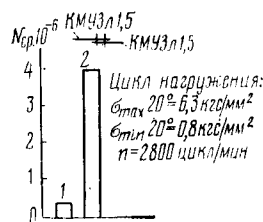


Рис. XIV.2.19. Влияние типа применяемой заклепки на выносливость клепаного соединения:

1 — заклепка диаметром 4 мм, 3У — 120° из сплава В65, обычная; 2 — заклепка диаметром 4 мм, 3У — 120° из сплава В65, полупустотелая.

Клепка прессовая двусторонним потаем.

42. При клепке смешанных пакетов (КМ+металл) для увеличения выносливости соединения потайные замыкающие головки необходимо располагать со стороны металла (см. рис. XIV.2.20).

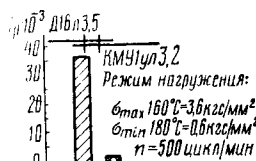


Рис. XIV.2.20. Влияние расположения потайных замыкающих головок на выносливость соединений:

замыкающая головка расположена со стороны Д16 (слева); замыкающая головка расположена со стороны КМУ (справа). Заклепки 3У — 90° полупустотелые диаметром 4 мм из материала Д19 — 3 шт.

43. При клепке смешанных пакетов (КМ+металл) с образованием непотайных замыкающих головок со стороны КМ для уменьшения деформации

стенок отверстий, смятия КМ при клепке и обеспечения более равномерного нагружения в зоне отверстия под замыкающие головки необходимо устанавливать шайбы.

Под замыкающие головки заклепок из материалов В65, Д19, Д18 устанавливаются шайбы из материала Д16АТ, для стальных заклепок — шайбы из материала 30ХГСА или ВТ16.

Соотношение наружного диаметра шайбы $D_{нар}$ с внутренним $d_{вн}$ должно быть равным 2,5.

Размеры шайб должны соответствовать указанным в табл. XIV.2.16.

Таблица XIV.2.16
Размеры шайб для композиционных материалов

Номинальный диаметр стержня заклепки	Внутренний диаметр шайб		Толщина шайб при наружном диаметре шайб				
	номинальный	доп. откл.	7	8	9	10	12
3	3,1	+0,08	1,0	1,0			
3,5	3,6			1,0	1,0		
4,0	4,1					1,0	
5,0	5,1						1,5

44. Длину заклепок для образования непотайных замыкающих головок рассчитывают по формуле

$$L = s + (1,3 - 1,4)d.$$

При этом диаметр замыкающей головки $D = (1,4 - 1,5)d$, высота ее $h \geq 0,5d$, где d — диаметр стержня заклепки, s — толщина пакета.

Длину заклепок для образования потайных замыкающих головок подбирают согласно данным, приведенным в табл. XIV.2.17.

Таблица XIV.2.17
Подбор длин полупустотелых заклепок для образования потайных замыкающих головок

d	3	3,5	4	d
s	L			s
2				2
3	6	7	7	3
4	7	8	8	4
5	8	9	9	5
6	9	10	10	6
7	10	11	11	7
8	11	12	12	8
9	12	13	13	9
10	13	14	14	10
11	14	15	15	11
12	15	16	16	12
13	16	17	17	13
14	17	18	18	14
15	18	19	19	15
16	19	20	20	16
17	20		21	17
18			22	18
19			23	19
20			24	20
			25	

Примечание: s — толщина пакета, мм; d — диаметр заклепки, мм; L — длина заклепки, мм.

45. При проектировании конструкций из КМ необходимо учитывать:

— потайные головки со стороны КМ после клепки должны выступать не менее чем на 0,1 мм;

— переемы в деталях из КМ должны быть не менее $3d$, где d — диаметр стержня заклепки;

— размеры отверстий под заклепки в пакетах, содержащих детали из КМ, должны соответствовать указанному в табл. XIV.2.18. Увеличение размеров отверстий приводит к снижению выносливости соединения (рис. XIV.2.21);

Таблица XIV.2.18

Диаметры отверстий под заклепки

Диаметр заклепки		2,6	3,0	3,5	4,0	5,0
Диаметр отверстия	Номинальный	2,7	3,1	3,6	4,1	5,1
	Допускаемое отклонение	+0,08				

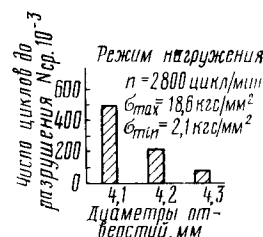


Рис. XIV.2.21. Влияние диаметра отверстия на выносливость соединения. Пакет: КМУЗл2,0 + КМУЗл2,0. Заклепка диаметром 4 мм из материала В65, полупустотелая. Клепка прессовая.

— возможность применения прессового способа клепки, обеспечивающего стабильное качество заклепочных соединений. Применение ударного способа клепки приводит к снижению выносливости соединения (табл. XIV.2.19);

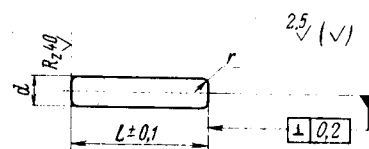
Таблица XIV.2.19

Результаты испытания на выносливость соединений, выполненных прессовым и ударными способами

Пакет и режим нагружения	Способ клепки	Тип заклепки	$N_{ср}$ — число циклов до разрушения
<p>$n = 2800$ цикл. $\sigma_{max} = 18,6$ кгс/мм² $\sigma_{min} = 2,1$ кгс/мм²</p>	Прессовый	В65 обычная 3515А4—9	17 640
		В65 полупустотелые ОСТ 1.34006—78	18 225
	Ударный	В65 полупустотелые ОСТ 1.34006—78	18 733
		В65 обычная 3515А4—10	6900

Таблица XIV.2.20

Форма и размеры стержневых заклепок



мм

Диаметр стержня d (предельные отклонения $\pm 0,05$)	Радиус закругления r	
	номинальный	предельные отклонения
4,0	0,4	$\pm 0,10$
5,0		
6,0		
7,0	0,8	$\pm 0,15$
8,0	0,8	

— для удаления заусенцев предусматривать возможность разборки конструкции, содержащей пакеты КМ+титановый сплав или сталь, в которых при сверлении со стороны металла образуются заусенцы. При клепке заусенцы разрушают КМ. Выносливость соединения при этом снижается в 3—5 раз;

— для клепаных конструкций наиболее пригодными являются КМ с перекрестной укладкой. При клепке однонаправленных КМ происходит растрескивание материала вдоль волокон.

46. В сборочных чертежах или в технических условиях на изготовление узлов и агрегатов летательных аппаратов должны быть оговорены требования по качеству выполнения заклепочных соединений согласно ТУ на изделие.

47. При проектировании соединений заклепками согласно ГОСТ 14797—75÷ГОСТ 14801—75 (или АН-1642) руководствоваться производственной инструкцией ПИ-249—78, НИАТ.

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОРЕСУРСНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Высокая усталостная прочность клепальных конструкций обеспечивается новыми технологическими процессами выполнения заклепочных соединений с применением

- стержневых заклепок;
- заклепок с компенсатором — ЗУК; ЗУКМ и ЗВУКК;
- универсальных заклепок — УЗ.

Метод клепки стержневыми заклепками может быть осуществлен только на сверлильно-клепальных автоматах, где образование отверстий под стержни, вставка стержней, расклепывание двух замыкающих головок выполняются за один автоматический цикл.

Благодаря высоким показателям по прочности и герметичности соединений, выполненных стержневыми заклепками без внутришовной герметизации, их необходимо применять в панелях топливных отсеков с большой толщиной пакета.

Клепка заклепками с компенсатором и универсальными может быть осуществлена прессовым способом на стационарных или переносных прессах, ударным способом с помощью пневмомолотков, а также на сверлильно-клепальных автоматах.

Заклепки с компенсатором рекомендуется применять в клепаных панелях и узлах воздушных отсеков с меньшей толщиной пакета.

Особенности соединений, выполненных стержневыми заклепками на сверлильно- клепальных автоматах

Стержневая заклепка представляет собой цилиндрический стержень со скругленными торцами (см. рис. к табл. XIV.2.20), изготовленный из алюминиевого сплава В65.

Форма и размеры стержневой заклепки указаны в ОСТ 1.34012—76. ОСТом предусмотрены диаметры от 4,0 до 8,0 мм. Технические условия на изготовление стержневых заклепок изложены в ОСТ 1.34013—76.

Высокая усталостная прочность и герметичность клепаных швов без внутришовного герметика обеспечиваются радиальной деформацией отверстия по всей толщине склепываемого пакета в процессе осадки стержневой заклепки.

Радиальная деформация отверстия характеризуется диаметральной натяжкой и является основным параметром соединения.

Оптимальное повышение выносливости соединений (в 2—3 раза по сравнению со сплошными стандартными заклепками) в пакетах из материала Д16Т достигается диаметральной натяжкой в основном сечении 2—2, $\Delta_n = 4,0 \pm 1,0\%$ от диаметра стержня. При этом в сечении 1—1 $\Delta_n = 4,1—4,6\%$, а в сечении 3—3 $\Delta_n = 4,5—6,0\%$ (рис. XIV.2.22).

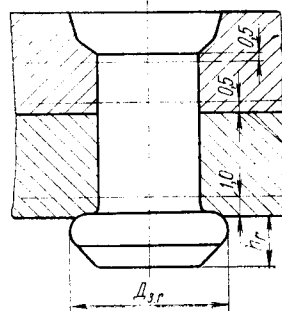


Рис. XIV.2.22. Схема замера диаметральной натяжки в соединении, выполненном стержневыми заклепками.

Существенное влияние на величину натяга оказывают следующие конструктивно-технологические факторы:

- усилие клепки;
- усилие сжатия пакета;
- тип и размеры формирующих частей обжимок в сочетании с усилием клепки;
- толщина пакета, с изменением которой необходима обязательная настройка на другой режим клепки.

Выполнение заданных режимов клепки стержневыми заклепками и обеспечение стабильного качества соединения с оптимальным натягом возможны только при работе со сверлильно-клепальными автоматами.

Руководство по технологичности узлов и панелей, соединения в которых выполнены стержневыми заклепками

1. Диаметры отверстий под стержневые заклепки должны соответствовать указанному в табл. XIV.2.21 и выполняться с точностью, соответствующей классу A_{3a} .

Таблица XIV.2.21

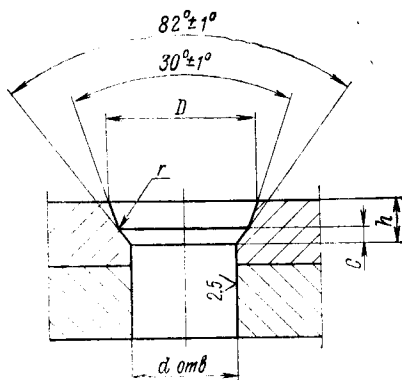
Диаметры отверстий под стержневые заклепки

мм		4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Диаметр стержневой заклепки d		4,05	5,05	6,05	7,05	8,05
Диаметр отверстия d_0	номинальный	4,05	5,05	6,05	7,05	8,05
	допускаемое отклонение	+0,048	+0,048	+0,048	+0,058	+0,058

2. Размеры зенкованных гнезд должны соответствовать указанным в табл. XIV.2.22.

Таблица XIV.2.22

Размеры зенкованного гнезда



Конусность отв. до 0,025 мм

Овальность отв. до 0,005 мм

мм

Диаметр отверстия $d_{отв}$	Внешний диаметр гнезда D		Глубина гнезда h		c (справочное)	Радиус перехода r
	минимальный	максимальный	минимальная	максимальная		
Допускаемое отклонение +0,048	4,05	5,6	5,7	1,6	1,7	0,58
	5,05	7,0	7,1	2,0	2,1	0,73
	6,05	8,4	8,5	2,4	2,5	0,89
Допускаемое отклонение +0,058	7,05	9,8	9,95	2,8	2,9	1,04
	8,05	11,2	11,36	3,2	3,3	1,19
	9,05	12,6	12,75	3,6	3,7	1,348

3. Стержневые заклепки должны быть изготовлены из алюминиевого сплава В65 (ГОСТ 14838—69); состояние поставки — термически обработанные с временным сопротивлением срезу $\tau_{ср} \geq 25$ кгс/мм²; покрытие — анодирование.

4. Длины стержневых заклепок подбирать в зависимости от их диаметра и толщины склепываемых пакетов по табл. XIV.2.23.

Таблица XIV.2.23

Подбор длин стержневых заклепок для клепки с образованием потайной замыкающей головки

(См. прим. к табл. 17)

мм

S	d					S
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	
5						5
6	15,5					6
7	17	18,5	21,5			7
8		20		24,5		8
9	18,5	21,5	23	26	27,5	9
10	20	23	24,5	27,5	29	10
11	21,5	23	26	27,5	30,5	11
12		24,5	27,5	29	32	12
13	23	26	27,5	30,5	33,5	13
14		27,5	29	32	35	14
15			30,5	33,5	36,5	15
16			32	35	38	16
17			33,5	36,5	39,5	17
18			34,5	38	41	18
19				39,5	42,5	19
20					44	20
21	S толщина пакета					21
22	d — диаметр стержневой заклепки					22
23	l — длина стержневой заклепки					23
24						24

5. Толщина детали, в которой выполняется потайная замыкающая головка, должна быть не менее $0,6 d_{ст}$, где $d_{ст}$ — диаметр стержневой заклепки.

6. Требования к конструкции узлов и панелей, позволяющие осуществить автоматическую клепку стержневыми заклепками, изложены в разделе «Рекомендации по технологичности узлов и панелей, обеспечивающие выполнение заклепочных соединений на сверлильно-клепальных автоматах».

Особенности соединений, выполненных заклепками с компенсатором

Заклепки с компенсатором отличаются от сплошных стандартных заклепок наличием на поверхности закладной головки выступа-компенсатора. Компенсатор при клепке утапливается в тело закладной головки, вызывая двустороннюю деформацию заклепки с плотным заполнением отверстия и создавая натяг в зонах закладной и замыкающей головки.

Форма и размеры компенсатора и закладной головки подобраны таким образом, чтобы обеспечить его утапливание усилием, образующим замыкающую головку.

Равномерно создаваемый диаметральный натяг в соединении обеспечивает герметичность без дополнительной внутришовной или поверхностной герметизации; повышает выносливость в 1,5–2 раза по сравнению со сплошными стандартными заклепками, что увеличивает ресурс конструкции.

В табл. XIV.2.24 представлены типы заклепок с компенсатором и их назначение в зависимости от характеристики пакета.

Таблица XIV.2.24

Условный шифр заклепки	ОСТ	Угол конуса потайной головки	Рекомендации по применению
Для потайной клепки	ЗУК 90°	ОСТ 1.12020–75 ОСТ 1.34039–79 для автоматической клепки	90° 90° Для клепки пакетов толщиной до 3,5 диаметра заклепки при толщинах обшивок более 0,4 диаметра заклепки
		ОСТ 1.34047–80 ОСТ 1.34046–80 для автоматической клепки	90° 90° Для клепки пакетов толщиной до 3,5 диаметра заклепки при толщинах обшивок в пределах 0,25–0,4 диаметра заклепки
Для непотайной клепки	ЗВУКК	ОСТ 1.34040–78 ОСТ 1.34045–79 для автоматической клепки	— — Для клепки пакетов толщиной до 5 диаметров заклепки; толщина обшивки не лимитируется

Прочностные характеристики соединений, выполненных заклепками с компенсатором

Статическая прочность при нагружении на срез и отрыв, благодаря упрочняющему действию компенсатора, на 5–10% выше прочности соединений, выполненных заклепками аналогичного типа без компенсатора.

Оценка выносливости заклепочных соединений при циклическом нагружении на срез приведена на графиках рис. XIV.2.23–XIV.2.27,

где $\sigma_{\max}^{\text{бр}}$ — максимальное напряжение в неослабленном (брутто) сечении образца, кгс/мм²;

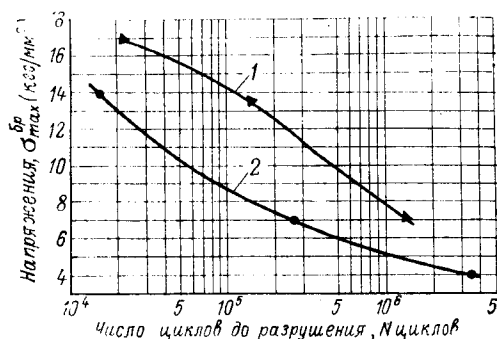


Рис. XIV.2.23. Кривые выносливости заклепочных соединений при циклическом нагружении на срез.

Образцы безыгибные из материала Д16АТЛЗ; диаметр отверстий 5,1 мм:

1 — для потайных заклепок с компенсатором ЗУК; 2 — для стандартных потайных заклепок.

$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ — коэффициент асимметрии цикла нагружения;
 f — частота нагружения.

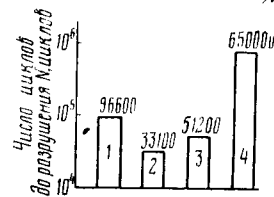


Рис. XIV.2.24. Результаты сравнительных испытаний заклепочных соединений на выносливость при циклических нагружениях.

Образцы безыгибные из материала Д16АТЛ2; $\sigma_{\max}^{\text{бр}} = 10$ кгс/мм², $R=0$; $f=40$ Гц; диаметр заклепок 4 мм; диаметр отверстий 4,1 мм:

1 — для стандартных потайных заклепок без компенсатора-34, шов без герметика; 2 — для стандартных потайных заклепок без компенсатора-34, шов с герметиком; 3 — для потайных заклепок с компенсатором ЗУК, шов с герметиком; 4 — для потайных заклепок с компенсатором ЗУК, шов без герметика.

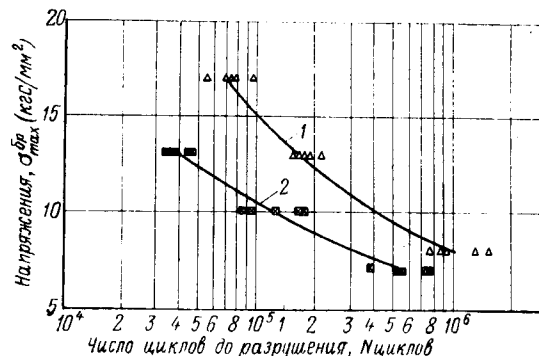


Рис. XIV.2.25. Результаты сравнительных испытаний заклепочных соединений на выносливость при циклических нагружениях.

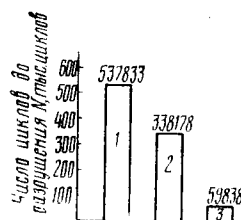
Образцы безыгибные из материала Д16АТЛ1,5; $R=0$; $f=40$ Гц; диаметр заклепок 4 мм; диаметр отверстий 4,1 мм; головки заклепок потайные с углом конуса 90°:

1 — для заклепок с компенсатором с уменьшенной высотой головки ЗУКМ; 2 — для заклепок с компенсатором ЗУК.

Рис. XIV.2.26. Результаты сравнительных испытаний заклепочных соединений на выносливость при циклических нагружениях.

Образцы безыгибные из материала Д16АТЛ1,2; $R=0$; $f=40$ Гц; $\sigma_{\max}^{\text{бр}} = 7$ кгс/мм²; диаметр заклепок 4 мм; диаметр отверстий 4,1 мм; головки заклепок потайные с углом конуса 120°:

1 — для заклепок с компенсатором с уменьшенной высотой головки ЗУКМ; 2 — для заклепок с компенсатором ЗУК; 3 — для стандартных заклепок ЗУ.



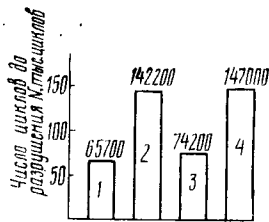


Рис. XIV.2.27. Результаты сравнительных испытаний заклепочных соединений на выносливость при циклических нагрузках:

$\sigma_{\text{бр}} = 13,9 \text{ кгс/мм}^2$; $R = 0,4 \text{ мм}^2$; $f = 40 \text{ Гц}$; диаметр заклепок 5 мм; диаметр отверстий 5,1 мм. Головки заклепок плоские и уменьшенные плоско-выпуклые; 1 — для стандартных заклепок ЗП; 2 — для заклепок с компенсатором ЗПК; 3 — для стандартных заклепок ЗВУ.

Руководство по технологичности узлов, соединения в которых выполнены заклепками с компенсатором

1. Конструкция узлов должна отвечать требованиям, изложенным в пп. 1—5; 7—12; 14—22; 31 раздела «Руководство по технологичности клепаных узлов, отсеков и агрегатов».

2. Конструкция узлов должна обеспечивать свободный двусторонний подход к месту расположения заклепок с компенсатором штампов при прессовой клепке и клепальными молотками и поддержек с массой, необходимой для качественного образования соединения при ударной клепке. Рекомендации по подбору масс поддержек даны в производственной инструкции ПИ 249—78.

3. В местах конструкции с затрудненным подходом заклепки с компенсатором не применять.

4. Конструкция узла должна предусматривать возможность сборки соединяемых деталей без зазора.

5. Оси заклепок с компенсатором в зоне подсечек и местах скруглений располагать на расстоянии a от конца сбega или скругления (см. рис. XIV.2.8).

6. Диаметры отверстий под заклепки с компенсатором должны соответствовать размерам, указанным в табл. XIV.2.25, согласно ПИ 249—78 (НИАТ, 1979).

Допускается по решению главного конструктора назначать диаметры отверстий с уменьшенным номинальным размером и с более жесткими предельными отклонениями согласно табл. XIV.2.26.

7. При выборе заклепок с компенсатором пользоваться отраслевыми стандартами.

Технические требования для всех заклепок с компенсатором должны соответствовать ОСТ 1.00756—76.

8. Длины заклепок подбирать в зависимости от их диаметров и толщин склепываемых пакетов по ГОСТ 14802—75. Превышение длин, регламентированных ГОСТ 14802—75, не допускается.

9. Для обеспечения стабильного качества и высокой производительности процесса клепки заклепок с компенсатором узлы необходимо проектировать с учетом возможности обработки их на автоматах или стационарных прессах, о чем должно быть указано в чертеже на сборочный узел.

10. При проектировании узлов в местах постановки заклепок с компенсатором, где нельзя применить по условиям подхода прессовую или автоматическую клепку, необходимо обеспечить подход клепального молотка со стороны закладной головки заклепки (см. табл. XIV.2.8), то есть обеспечить применение обратного метода клепки.

Таблица XIV.2.25

мм		3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Диаметр заклепки	номинальный	3,6	4,1	5,1	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1
	предельное отклонение	+0,16			+0,20				

Таблица XIV.2.26

мм		3,5	4,0	5,0	6,0
Диаметр заклепки		3,55	4,05	5,05	6,05
Для топливных отсеков	предельное отклонение	+0,05			
	шероховатость	2,5 V			
Для воздушных отсеков и ресурсных соединений	предельное отклонение	+0,10			
	шероховатость	Rz 20 V			

11. В технических условиях на внешние обводы летательных аппаратов должно быть указано допустимое выступание потайных головок заклепок ЗУК, исходя из условия, что наименьшая величина выступания закладной головки после клепки должна быть не менее 0,01 мм, а наибольшая — не более 0,15 мм у заклепок ЗУКМ и 0,20 мм у заклепок ЗУК. Требование ТУ на выступание обеспечивается операцией фрезерования потайных головок заклепок ручным механизированным инструментом.

12. Для применения плоских штампов при одиночной и групповой прессовой клепке или плоских обжимок при ударной клепке, повышающих производительность процесса выполнения соединений заклепками типа ЗВУКК, в чертеже узла должно быть указание о допустимом подмятии закладных головок заклепок до величины, указанной в табл. XIV.2.27.

Таблица XIV.2.27

мм		3,5	4,0	5,0	6,0
Диаметр заклепки		3,5	4,0	5,0	6,0
Минимальная высота закладной головки		0,9	1,0	1,25	1,9

13. Герметичность внутренних заклепочных швов в узлах типа панелей обеспечивается самим соединением, выполненным заклепками с компенсатором без герметизирующих материалов. О применении поверхностной герметизации таких швов должно быть указание в чертеже.

Герметизация стыковых швов производится поверхностным или комбинированным методами.

14. Для контроля герметичности соединений, выполненных заклепками с компенсатором, должна быть выпущена инструкция, утвержденная главным конструктором.

15. В целях снижения трудоемкости изготовления высокопрочных неразъемных соединений, выполненных с помощью болтов, в местах, удобных для прессовой клепки, болты рекомендуется заменять стальными заклепками с компенсатором.

16. Для клепки стеклотекстолитовых конструкций заклепки с компенсатором не применять.

17. При проектировании узлов с применением заклепок с компенсатором руководствоваться РТМ-1.4.477—78 «Выполнение высокоресурсных герметичных соединений заклепками с компенсатором».

ОСОБЕННОСТИ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ЗАКЛЕПКАМИ

Универсальная заклепка представляет собой цилиндрический стержень с закладной головкой, имеющей бочкообразную форму. Материал заклепки — алюминиевый сплав В65. Форма и размеры универсальной заклепки для диаметров от 3,0 до 8,0 мм указаны в ОСТ 134043—80 и ОСТ 134044—80.

Таблица XIV.2.28

мм						
Диаметр заклепки	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	Диаметр заклепки
Толщина пакета	Длина заклепки					Толщина пакета
3,0	6,0	7,0				3,0
4,0	7,0	8,0	8,0			4,0
5,0	8,0	9,0	9,0	10,0		5,0
6,0	9,0	10,0	10,0	11,0	11,0	6,0
7,0	10,0	11,0	11,0	12,0	12,0	7,0
8,0	11,0	12,0	12,0	13,0	13,0	8,0
9,0	12,0	13,0	13,0	14,0	14,0	9,0
10,0		14,0	14,0	15,0	15,0	10,0
11,0			15,0	16,0	16,0	11,0
12,0			16,0	17,0	17,0	12,0
13,0				18,0	18,0	13,0
14,0				19,0	19,0	14,0
15,0				20,0	20,0	15,0
16,0					21,0	16,0
17,0					22,0	17,0

Форма и размеры универсальных заклепок

Универсальная заклепка (УЗ) предназначена для клепки потайных и непотайных швов герметичных отсеков.

Размер закладной бочкообразной головки определяется объемом материала, необходимого для образования как потайной, так и непотайной замыкающей головки.

Длина УЗ для непотайных соединений подбирается по нормали 179 АТ. Для потайных соединений для обеспечения качества длина заклепок выбирается по табл. XIV.2.28.

В процессе образования потайных и непотайных соединений УЗ происходит одновременная деформация закладной и замыкающей головок. Такая схема осадки позволяет получить равномерный диаметральный натяг по толщине пакета и, следовательно, повысить усталостные характеристики и герметичность соединений.

Прочностные характеристики соединений, выполненных универсальными заклепками

Статическая прочность заклепочных соединений заклепками УЗ при работе на отрыв головок равноценна прочности соединений, выполненных обычными заклепками.

Динамическая выносливость потайных соединений УЗ при срезе приблизительно в 2—3 раза выше выносливости обычных потайных заклепочных соединений, а выносливость непотайных соединений УЗ приблизительно в 1,5—2 раза выше выносливости обычных непотайных соединений.

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ УЗЛОВ, СОЕДИНЕНИЯ В КОТОРЫХ ВЫПОЛНЕННЫ УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ЗАКЛЕПКАМИ

1. Одним из основных условий получения качественных соединений при клепке УЗ является качественное выполнение отверстий под заклепки.

Диаметры отверстий под УЗ должны соответствовать размерам, указанным в табл. XIV.2.29 с

Таблица XIV.2.29

мм					
Диаметр заклепки	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
Диаметр сверла для предварительного сверления пневмодрелью	—	2,70	3,10	4,10	5,10
Номинальный диаметр отверстия	3,05	3,55	4,05	5,05	6,05
Допускаемые отклонения по А ₄	+0,06	+0,08			
Диаметр сверла или сверла-развертки при сверлении в окончательный размер	3,05	3,55	4,05	5,05	6,05

точностью, равной качеству H11. Шероховатость обработки материала пакета при образовании 20 отверстий должна быть не выше $Rz \sqrt{\quad}$ по ГОСТ 2789—73.

2. Гнезда под потайные замыкающие головки УЗ по форме и размерам должны соответствовать указанным в табл. XIV.2.22 размерам гнезд под стержневые заклепки (РТМ 1.4.643—79).

Глубина зенкования равна $0,4 d$ заклепки. Допуск на глубину зенкования гнезд $+0,1$ мм.

3. Минимальная толщина детали, в которой производится зенкование, должна быть не менее приведенной в табл. XIV.2.30.

Таблица XIV.2.30

мм					
Диаметр заклепки	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
Минимальная толщина детали	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0

4. При выполнении соединений УЗ на автоматическом клепальном оборудовании необходимо руководствоваться «Рекомендациями по технологичности узлов и панелей, обеспечивающих выполнение заклепочных соединений на сверлильно-клепальных автоматах».

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ УЗЛОВ КЛЕПАНОЙ КОНСТРУКЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ВЫПОЛНЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ НА СВЕРЛИЛЬНО- КЛЕПАЛЬНЫХ АВТОМАТАХ

Сверлильно-клепальные автоматы предназначены для выполнения всех операций, входящих в технологический процесс клепки,— сверления, зенкования отверстий, вставки заклепки, расклепывания, зачистки потайной головки — за один автоматический цикл.

Перемещение узлов и панелей на шаг заклепок может осуществляться вручную или по программе на автоматах, снабженных числовым программным управлением.

Детали и заклепки узлов и панелей, предназначенных для клепки на автоматах моделей АК-2,2-0,5; АК3-5,5-1,2; АК-5,5-2,4 и АК-16,0-3,0, должны быть изготовлены из алюминиевых сплавов.

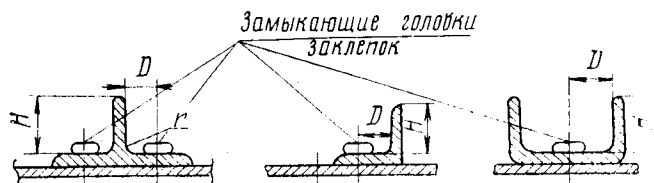
Техническая характеристика указанных автоматов дана в отраслевом типаже.

1. Конструкция узлов и панелей должна отвечать требованиям, изложенным в разделе «Руководство по технологичности клепаных узлов, отсеков и агрегатов», пп. 1—5; 9; 11; 12; 21; 30; 31; 46; 47.

2. При выборе наибольших размеров узлов рекомендуется пользоваться табл. XIV.2.1. Увеличение ширины ухудшает обзор зоны клепки при выполнении соединений на автоматах без ЧПУ, а увеличе-

Таблица XIV.2.31

Предельные размеры поперечного сечения профилей открытого типа и мест расположения заклепок в узлах, обрабатываемых на автомате АК-2,2-0,5, мм



Расположение узла относительно скобы автомата	Расклепывание со стороны листа			Расклепывание со стороны силового набора		
Размеры поперечного сечения профиля и места расположения заклепок	H_{max}	D_{min}		H_{max}	D_{min}	
	30	$6,0+2r$	16,0	40	5,0	5,0
				60	10,0	10,0
				92	12,0	12,0
	32	16,0	16,0	105	45,0	45,0
				120	53,0	53,0
				200	—	53,0

ние размеров сверх указанных в таблице, усложняет перемещение узлов на заклепочный шаг.

3. Стержневые заклепки в панелях, обрабатываемых на автоматах с ЧПУ, должны быть расположены по рядовым швам.

Расстояние между рядами (при 2—3-рядном и более шве) должно быть не менее 20 мм.

4. Для продольных и поперечных элементов жесткости в панелях и узлах применять только открытые профили форм, указанных на рис. XIV.2.28 (Профили прессованные. Каталог. М., ВИС, 1965—1966 гг.).

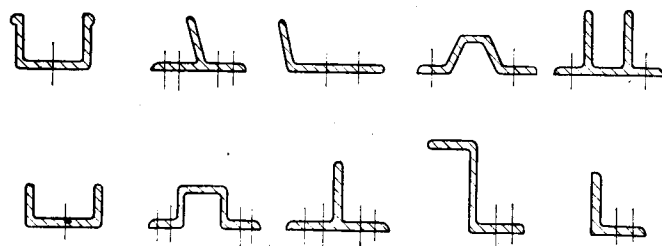


Рис. XIV.2.28. Поперечные сечения прессованных профилей.

5. При необходимости применения профилей закрытого и полузакрытого типов, для определения местоположения заклепок или стержневых заклепок руководствоваться размерами, указанными в табл. XIV.2.31—XIV.2.34, в зависимости от модели автомата.

6. Заклепки по профилям вида, указанного на рис. XIV.2.29, располагать на расстоянии 11 мм от верхней точки наклонной стенки.

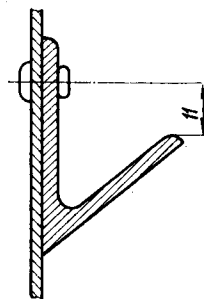


Рис. XIV.2.29. Профиль с закрытой малкой.

7. Отклонения размеров вертикальных и горизонтальных полок элементов жесткости в панелях, обрабатываемых на автоматах с ЧПУ, должны находиться в пределах $\pm 0,5$ мм относительно номинального размера, указанного в чертеже.

8. Оси всех заклепок в зоне подсечки и местах скругления располагать на расстоянии a от конца сбега или скругления (см. рис. XIV.2.6), руководствуясь данными, указанными в табл. XIV.2.31—XIV.2.34, то есть $a \geq D$, где D — расстояние от оси заклепки до стенки профиля.

9. Узлы и панели, предназначенные для обработки на автоматах, и применяемые в них заклепки, в том числе и стержневые, должны быть изготовлены из алюминиевых сплавов.

Таблица XIV.2.32

Предельные размеры поперечного сечения профилей открытого типа и мест расположения заклепок в узлах, обрабатываемых на автоматах АКЗ-5,5-1,2 и АК-5,5-2,4



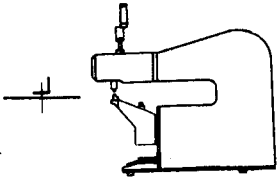
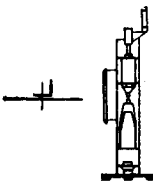
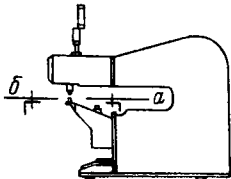
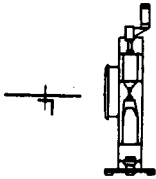
Расположение узла относительно скобы автомата	Расклепывание со стороны листа		Расклепывание со стороны силового набора				
							
Расположение поперечного сечения профиля и места расположения заклепок	H_{\max}	D_{\min}		H_{\max}	D_{\min}		
					a	b	
	30	12,5 (10,5 для $d=4$ мм)	17,0	40	7,5	11,0	11,0
	40	23,0	56,0	45	10,0	11,0	28,0
	48	—	56,0	54	58,0	11,0	28,0
	70	—	72,0	65	64,0	15,0	60,0
				80	72,0	15,0	—

Таблица XIV.2.33

Предельные размеры поперечного сечения профиля и мест расположения заклепок в узлах, обрабатываемых на автоматах АК-2,2-0,5; АК3-5-5-1,2 и АК-5,5-2,4 специнструментом



Обозначение размеров	Для профилей вида			
	a		б	
	min	max	min	max
<i>h</i>	—	—	30	42
<i>H</i>	16	30	—	46
<i>D</i>	7	—	7	—
<i>C</i>	6,5		<i>D</i> +19	

10. Типы и размеры заклепок, в том числе заклепок с компенсатором и стержневых заклепок, должны быть в полном соответствии с технической документацией на них (ОСТ, ГОСТ и т. д.).

11. Для свободного прохода заклепок в отверстия применять заклепки со скругленными торцами по ОСТ 1.34035—78÷ОСТ 1.34038—78 «Заклепки для автоматической клепки» и ОСТ 1.34039—79 «Заклепки для автоматической клепки — ЗУК».

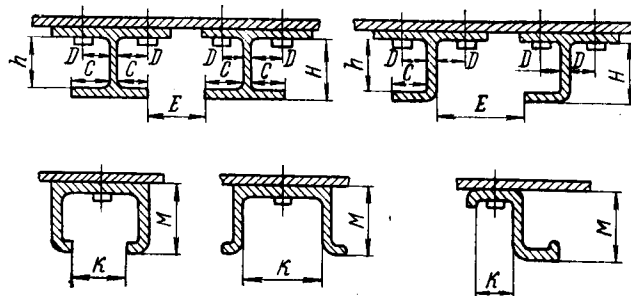
До освоения и серийного выпуска заклепок со скругленными торцами допускается применять заклепки по ГОСТ 14798—75 — заклепки с потайной головкой с углом 90° повышенной точности (или по АН-1642); по ГОСТ 14799—75 — заклепки с потайной головкой с углом 120° повышенной точности (или по АН-1642); по ГОСТ 14801—75 — заклепки с плоской головкой повышенной точности (или по АН-1642); по ОСТ 1.12020—75 — заклепки потайные с компенсатором. При этом на торцах стержней должны быть сняты фаски 0,3×45° механическим путем с восстановлением антикоррозийного покрытия. Это требование должно быть указано в чертеже на изделие.

12. В конструкции узлов и панелей, предназначенных для обработки на автоматах, не применять двустороннюю потайную клепку.

13. Длины заклепок выбирать в зависимости от их диаметров и толщины склепываемого пакета: для заклепок со скругленными торцами по ОСТ 1.34041—79, а для обычных — по ГОСТ 14802—75 (или АН-1642). Для подбора длин стержневых заклепок пользоваться табл. XIV.2.23.

Таблица XIV.2.34

Предельные размеры продольных элементов жесткости и места расположения заклепок в узлах, обрабатываемых на автомате АК-16,0-3,0 с ЧПУ



Обозначения размеров	Диаметры стержней (заклепок), мм				
	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
D_{\min}	9,0		10,0		12,0
h_{\min}	50,0				
H_{\max}	70,0				
C_{\max}	25,0				
E_{\min}	105,0				
M_{\max}	70,0				
K_{\min}	26,0			30,0	

14. Для обеспечения стабильного качества заклепочного соединения толщины пакетов должны быть в пределах:

— максимальная — трех диаметров стержня заклепки;

— минимальная — 0,8 диаметра стержня заклепки (или сплошной заклепки).

15. Толщина детали, в которой выполняются зенкованные гнезда под потайные головки заклепок, должна быть больше высоты этих гнезд. Форма и размеры гнезд, в которых формируются потайные головки стержневых заклепок, указаны в табл. XIV.2.22.

16. Наименьший шаг между стержневыми заклепками при обработке на автоматах АК16-3, У18-2АКД16-2 не должен превышать 20 мм для диаметров 4,0; 5,0; 6,0 мм и 25 мм — для диаметров 7,0 и 8,0 мм.

17. Наименьшие возможные шаги между заклепками в узлах, подлежащих обработке на автоматах АК-2,2-0,5; АК3-5,5-1,2; АК-5,5-2,4, в зависимости от поперечного сечения профиля и продольного или поперечного расположения швов, указаны в табл. XIV.2.35.

Примечание. Значения *X* и *Y* взаимозаменяемы и связаны между собой.

Наименьшие допустимые расстояния между элементами жесткости при обработке на автоматах указаны в табл. XIV.2.36.

Таблица XIV.2.35

Наименьшие возможные шаги заклепочных швов в узлах, подлежащих клепке на автоматах АК-2,2-0,5; АК3-5,5-1,2; АК-5,5-2,4

мм

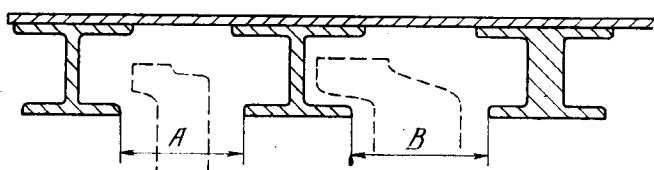
Модель автомата	Диаметр заклепок										Сечение профиля
	3,0		3,5		4,0		5,0		6,0		
	Расположение шва по осям:										
	X*	Y**	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
AK-2,2-0,5	12,5		13,0		13,5		—		—		
	13,5	25,5	14,0	26,0	14,5	27,0	—		—		
	14,5	37,5	15,0	38,0	15,5	39,0	—		—		
AK3-5,5-1,2 AK-5,5-2,4	10,0		11,0		11,5		12,5		17,0		
	15,5	37,5	16,0	38,0	16,5	39,0	17,5	39,5	—		
	14,5	37,5	15,0	38,0	15,5	39,0	16,5	39,5	17,0	40,0	

* X — продольное расположение заклепочного шва;
** Y — поперечное расположение заклепочного шва.

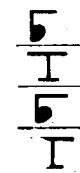
* X — продольное расположение заклепочного шва;
** Y — поперечное расположение заклепочного шва.

Таблица XIV.2.36

Наименьшие допустимые расстояния между элементами жесткости при обработке на автоматах АК-2,2-0,5; АК3-5,5-1,2; АК-5,5-2,4



мм

Модель автомата	Расстояние между профилями		Сечение профиля
	с выводом штампа из зоны клепки (A)	без вывода штампа из зоны клепки (B)	
АК-2,2-0,5	23,0	20,0	
	48,0	26,0	
АК3-5,5-1,2	38,0	28,0	
АК-5,5-2,4	38,0	22,0	

18. В узлах и панелях с переменной толщиной пакета, где нельзя избежать применения заклепок

двух, трех и более размеров и разных шагов, рекомендуется унифицировать расположение заклепок по зонам (см. рис. XIV.2.5). Это позволит сократить количество оснастки, что существенно снизит время для ее настройки и переналадки при переходе на другой типоразмер заклепки.

19. Не применять в конструкции узлов и панелей клиновидных пакетов. В случае необходимости рекомендуется изменять толщину пакета ступенчато, сохраняя параллельность пакета.

20. На сборочных чертежах панелей наносить следующую информацию в цифрах:

- шаги заклепок;
- расстояние между рядами заклепок;
- диаметры и длины стержней.

В сечениях (рис. XIV.2.30) указывать: высоту и ширину профиля h и b , толщину пакета s , толщину одной из входящих деталей δ , радиус r , расстояние от оси заклепки до стенки профиля K , перемычку P .

21. На общем виде чертежей панелей кроме информации, указанной в п. 20, необходимо дать

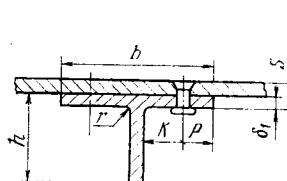


Рис. XIV.2.30. Поперечное сечение по профилю панели.

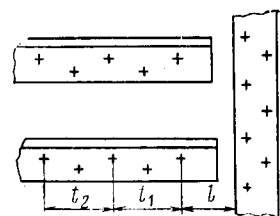


Рис. XIV.2.31. Расположение продольных и поперечных профилей в панелях.

расстояние l (рис. XIV.2.31) от оси первой заклепки на продольном профиле до края полки поперечного профиля.

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ БОЛТ-ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Болт-заклепочное соединение представляет собой неразъемное соединение, выполненное посредством стержня и кольца (рис. XIV.2.32). С помощью

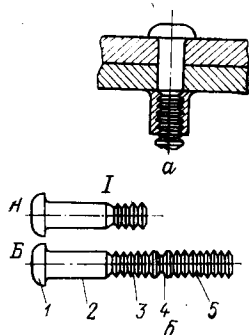


Рис. XIV.2.32. Болт-заклепочное соединение:

a — выполненное; $б$ — элементы соединения; I — стержень болт-заклепки; A — без технологического хвостовика; B — с технологическим хвостовиком; 1 — закладная головка; 2 — гладкая часть; 3 — профильная часть с кольцевыми канавками; 4 — шейка обрывная; 5 — технологический хвостовик с кольцевыми канавками; II — кольцо болт-заклепки.

болт-заклепок выполняются как обычные, так и высокоресурсные соединения.

Основные требования при проектировании конструкций с использованием болт-заклепочного соединения

1. Болт-заклепки рекомендуется применять в герметичных и негерметичных швах при сборке узлов.
2. При выборе стержней и колец болт-заклепок руководствоваться отраслевыми стандартами, указанными в табл. XIV.2.37—XIV.2.39.
3. Разрушающие нагрузки на разрыв по шейке, срез гладкой части стержня и разрыв соединений даны в табл. XIV.2.40—XIV.2.42.
4. Предельные отклонения стержней болт-заклепок и отверстий при выполнении соединений приведены в табл. XIV.2.43.
5. Типовые места конструкций, обеспечивающие возможность постановки болт-заклепок существующим инструментом, указаны в табл. XIV.2.44, XIV.2.45.
6. Закладную головку стержня болт-заклепки устанавливать со стороны элемента меньшей толщины.

Таблица XIV.2.37

Отраслевые стандарты на болт-заклепки с технологическим хвостовиком

Основные данные по болт-заклепкам							Обозначение отраслевого стандарта на							Техническая документация										
Стержень				Кольцо			стержень	Кольцо		технические условия	фильеру	соединение	подбор длины стержня											
Материал	Форма головки	Посадка	Диаметр, мм	Материал	Диаметр, мм			высадное	точное															
Д16П	Полукруглая	h8	3,5; 4,0 5,0; 6,0; 7,0; 8,0	Д18	3,5; 4,0; 5,0 6,0; 7,0; 8,0		1—ОСТ 1.11628—75	ОСТ 1.11637—75	ОСТ 1.11639—75															
		Спец.					2—ОСТ 1.11628—75																	
	Плосковыпуклая	h8					1—ОСТ 1.11634—75																	
		Спец.					2—ОСТ 1.11634—75																	
	Потайная ∠90°	h8					1—ОСТ 1.11631—75																	
		Спец.					2—ОСТ 1.11631—75																	
30ХГСА	Полукруглая	h10	4,0; 5,0; 6,0	Сталь 15	5,0; 6,0		ОСТ 1.11627—75	ОСТ 1.11636—75 ОСТ 1.30005—76	ОСТ 1.11638—75 ОСТ 1.11640—75	ОСТ 1.30005—76 ОСТ 1.00716—78														
		p6	8,0; 10,0				ОСТ 1.11629—75																	
	Плосковыпуклая	h10	4,0; 5,0				ОСТ 1.11633—75																	
		p6	6,0; 8,0				ОСТ 1.11635—75																	
	Потайная ∠90°	h10	4,0; 5,0; 6,0				ОСТ 1.11630—75																	
		p6	8,0; 10,0				ОСТ 1.11632—75																	
		Переход.	5,0; 6,0				ОСТ 1.12142—77																	
			Переход.				8,0; 10,0							ОСТ 1.12141—77										
	Плоско-скругленная	Переход.	8,0; 10,0	В-65	5,0; 6,0	10,0		ОСТ 1.11636—75 ОСТ 1.30005—76	ОСТ 1.11638—75 ОСТ 1.11640—75	ОСТ 1.30005—76 ОСТ 1.00716—78														
	Плоско-скругленная	Переход.	8,0; 10,0																					
	Плоско-скругленная	Переход.	8,0; 10,0																					

Основные данные по болт-заклепкам							Обозначение отраслевого стандарта на												
Стержень				К о л ь ц о			стержень	Кольцо		технические условия	фильеру	соединение	подбор длины стержня	Техническая документация					
Материал	Форма головки	Посадка	Диаметр, мм	Материал	Диаметр. мм			высадное	точное										
					высадное	точное													
ВТ-16	Плоско-скругленная	h10	4,0; 5,0; 6,0	B-65	5,0; 6,0; 8,0	4,0; 5,0	OCT 1.11382—74	OCT 1.30005—76	OCT 1.11390—74 OCT 1.11640—75	OCT 1.0045—82 OCT 1.00671—78	OCT 1.00158—74 OCT 1.00122—74	OCT 1.00122—74	OCT 1.00122—74	OCT 1.42052—80 + OCT 1.42054—80					
		p6	8,0; 10,0	BT-16		10,0	OCT 1.11384—74												
		Переход.	5,0; 6,0	B-65	5,0; 6,0; 8,0	4,0 5,0; 6,0	OCT 1.12337—78	OCT 1.30005—76	OCT 1.11640—75 OCT 1.11390—74										
		Натяг.	8,0; 10,0	BT-16	—	8,0; 10,0	OCT 1.11853—76												
ВТ-16	Потайная $\angle 90^\circ$	h10	4,0; 5,0; 6,0	B-65	5,0; 6,0; 8,0	4,0; 5,0 6,0	OCT 1.11382—74	OCT 1.30005—76	OCT 1.11390—74 OCT 1.11640—75	OCT 1.00671—78	OCT 1.00158—74 OCT 1.00122—74	OCT 1.00122—74	OCT 1.00122—74	OCT 1.42052—80 + OCT 1.42054—80					
		p6	8,0; 10,0	BT-16		0,8; 10,0	OCT 1.11384—74												
		Переход.	5,0; 6,0	B-65	5,0; 6,0; 8,0	4,0 5,0; 6,0	OCT 1.12338—78	OCT 1.30005—76	OCT 1.11640—75 OCT 1.11390—74										
		Натяг.	8,0; 10,0	BT-16	—	8,0; 10,0	OCT 1.11854—76												
13X11H2B2MФ-Ш	Плоско-скругленная	h10	4,0; 5,0	13X11H2	—	4,0; 5,0	OCT 1.11381—74	—	OCT 1.11389—74	OCT 1.00716—78	OCT 1.00158—74 OCT 1.00122—74	OCT 1.00122—74	OCT 1.00122—74	OCT 1.42052—80 + OCT 1.42054—80					
		p6					OCT 1.11383—74												
	Потайная $\angle 90^\circ$	h10	6,0; 8,0 10,0	B2MФ-Ш	—	6,0; 8,0 10,0	OCT 1.11385—74												
		p6					OCT 1.11387—74												

7. Длины болт-заклепок выбирать в зависимости от толщины пакета согласно отраслевым стандартам, указанным в табл. XIV.2.37—XIV.2.39.

8. Постановку болт-заклепок в пакеты с уклоном не более 7° рекомендуется производить без цековки пакета.

9. При клиновидности пакета больше 7° необходимо предусмотреть цековку пакета под закладные или замыкающие головки болт-заклепок или установку клиновидных шайб под замыкающие головки.

Закладную головку стержня болт-заклепки располагать со стороны поверхности пакета, перпендикулярной оси отверстия.

10. Длину болт-заклепок в клиновидных пакетах назначать по толщине пакета в месте расположения оси отверстия.

11. Конструкция узлов должна отвечать требованиям, изложенным в пп. 1, 4, 7, 8, 9 главы I.

Болт-заклепочные соединения имеют ряд преимуществ по сравнению с другими видами соединений:

— бесшумность и отсутствие вибраций при постановке болт-заклепок в конструкцию;

— трудоемкость и себестоимость выполнения соединений болт-заклепками ниже в 1,5—2 раза, а масса в 1,2—1,5 раза меньше, чем у болтовых соединений;

— усталостная прочность болт-заклепочных соединений значительно больше усталостной прочности болтовых соединений из соответствующих материалов; предел выносливости болт-заклепочных соединений на разрыв в 2 раза больше предела выносливости болтового соединения.

Отраслевые стандарты на болт-защелки с технологическим хвостовиком для герметизируемых соединений

Основные данные по болт-защелкам							Обозначение отраслевого стандарта на					Техническая документация					
Материал	Стержень			К о л ь ц о			стержень	кольцо		технические условия	фильеру		соединение и подбор длины стержня				
	Форма головки	Посадка	Диаметр, мм	Материал	Диаметр, мм			высадное	точное								
					высадное	точное											
Д16П	Полукруглая	h8	4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0	Д18	4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0		1—ОСТ 1.11628—75	ОСТ 1.11965—75	ОСТ 1.11964—75	ОСТ 1.00716—78		ОСТ N 00158—74	ОСТ 1.42052—80 + ОСТ 1.42054—80				
		Спец.					2—ОСТ 1.11628—75										
	Плоско-выпуклая	h8					1—ОСТ 1.11634—75										
		Спец.					2—ОСТ 1.11634—75										
	Потайная $\angle 90^\circ$	h8					1—ОСТ 1.11631—75										
		Спец.					2—ОСТ 1.11631—75										
30ХГСА	Полукруглая	h10	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	Сталь 15; В-65	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0		ОСТ 1.11627—75	ОСТ 1.11649—76; ОСТ 1.11650—76	ОСТ 1.11652—76; ОСТ 1.11654—76	ОСТ 1.00716—78	ОСТ 1.00158—74	ОСТ 1.30001—76					
		p6					ОСТ 1.11629—75										
	Потайная $\angle 90^\circ$	h10					ОСТ 1.11630—75										
		p6					ОСТ 1.11632—75										
	Плоско-выпуклая	h10					ОСТ 1.11633—75										
		p6					ОСТ 1.11635—75										
	ВТ-16	Плоско-скругленная	h10				4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0	ВТ1-0	—	4,0; 5,0; 6,0; 8,0	ОСТ 1.11382—75	—		ОСТ 1.11653—76	ОСТ 1.00671—78		ОСТ 1.30001—76
			p6								ОСТ 1.11384—75						
Потайная $\angle 90^\circ$		h10	ОСТ 1.11386—74														
		p6	ОСТ 1.11388—74														

Таблица XIV.2.39

Отраслевые стандарты на болт-защелки без технологического хвостовика

Основные данные по болт-защелкам						Обозначение отраслевого стандарта на						Техническая документация
Стержень				К о л ь ц о		стержень	кольцо		технические условия	фильеру	соединение и подбор длин стержня	
Материал	Форма головки	Посадка	Диаметр, мм	Материал	Диаметр, мм высадное точное		высадное	точное				
30XГСА	Плоско-скругленная	Переходн.	5,0; 6,0; 8,0; 10,0	Сталь 15	5,0; 6,0	OCT 1.30006—77	OCT 1.11636—75	OCT 1.11638—75	OCT 1.00716—78	OCT 1.00158—74	OCT 1.30020—77	РТМ 1.4.576—79
		h10	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30008—77						
	Потайная ∠90°	Переходн.	5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30010—77						
		h10	5,0; 6,0; 4,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30012—77						
	Потайная ∠120°	Переходн.	5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30014—77						
		h10	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30016—77						
ВТ-16	Плоско-скругленная	Переходн.	5,0; 6,0; 8,0; 10,0	ВТ-16	—	6,0; 8,0; 10,0	OCT 1.30007—77	—	OCT 1.11390—74	OCT 1.00671—78	OCT 1.00122—74	
		h10	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30009—77						
	Потайная ∠90°	Переходн.	5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30011—77						
		h10	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30013—77						
	Потайная ∠120°	Переходн.	5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30015—77						
		h10	4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0			OCT 1.30017—77						

Таблица XIV.2.40

Разрушающие нагрузки на разрыв по шейке, срез гладкой части стержня и разрыв соединений для болт-защелок из титанового сплава BT-16

Номинальный диаметр стержня болт-защелки d, мм	Разрушающая нагрузка, кгс													
	на разрыв стержней по шейке				на срез гладкой части стержней				на разрыв соединений					
	Деформационно-упрочненные		Термически обработанные		Деформационно-упрочненные		Термически обработанные		Материал кольца					
									B65			BT-16, BT1-0		
	не менее	не более	не менее	не более	н е м е н е е									
					Температура, °C									
	25				—	130	25	200	300	25	100	25	200	300
4	—	—	940	1180	—	—	800	640	570	—	—	810	650	600
5	1150	1400	1260	1570	1170	1050	1250	1000	890	1130	930	1340	1070	970
6	1650	2030	2040	2520	1700	1520	1800	1440	1280	1570	1260	1850	1480	1390
8	2800	3400	3450	4220	3060	2700	3250	2600	2320	3090	2470	3640	2900	2500
10	—	—	5400	6580	—	—	5100	4100	3640	4540	3610	5330	4250	3960

Таблица XIV.241

Разрушающие нагрузки на разрыв по шейке, срез гладкой части стержня и разрыв соединений для болт-заклепок из алюминиевого сплава Д16П и стали 30ХГСА и 13Х11Н2В2МФ-Ш

Номиналь- ный диаметр стержня болт- заклепки d, мм	Разрушающая нагрузка, кгс														
	на разрыв стержней по шейке						на срез гладкой части стержней			на разрыв соединений					
	Материал стержня														
	Д16П	30ХГСА	13Х11Н2В2МФ-Ш	Д16П	30ХГСА	13Х11Н2В2МФ-Ш	Д16П	30ХГСА		13Х11Н2В2МФ-Ш					
							Д18	Материал кольца							
								сталь 15		В65		13Х11Н2В2МФ-Ш			
								Толщина пакета, мм							
	min	max	min	max											
не менее	не более	не менее	не более	не менее	не более	не менее									
3,5	232	354	—	—	—	—	260	—	—	260	—	—	—	—	—
4,0	317	477	960	1130	910	1110	340	870	730	350	—	—	720	—	750
5,0	491	745	1420	1755	1240	1530	530	1370	1150	590	1200	1600	1000	1400	1220
6,0	707	1055	2080	2580	1630	1980	763	1970	1650	930	2000	2400	1600	2000	1680
7,0	964	1425	—	—	—	—	1040	—	—	1300	—	—	—	—	—
8,0	1252	1840	3570	4300	2980	3590	1357	3500	2950	1700	3800	4000	3000	3500	3300
10,0	—	—	5900	7000	4000	5100	—	5490	4600	—	6380	7000	4300	5100	4850

Таблица XIV.242

Разрушающие нагрузки соединений, образованных болт-заклепками без технологического хвостовика

Номиналь- ный диа- метр стержня, мм	Разрушающие нагрузки, кгс				Номиналь- ный диа- метр стержня, мм	Разрушающие нагрузки, кгс			
	на срез гладкой части стержня		на разрыв болт-закле- почных соединений			на срез гладкой части стержня		на разрыв болт-закле- почных соединений	
	сталь	титановый сплав	сталь	титановый сплав		сталь	титановый сплав	сталь	титановый сплав
4	870	750	1000	810	8	3500	3060	4100	3230
5	1370	1170	1600	1270	10	5400	4790	6300	5100
6	1970	1700	2300	1850					

Примечание. Разрушающие нагрузки на разрыв болт-заклепочных соединений со стержнями с потайной головкой $\angle 120^\circ$ должны быть не менее 70% от разрушающих нагрузок, приведенных в таблице.

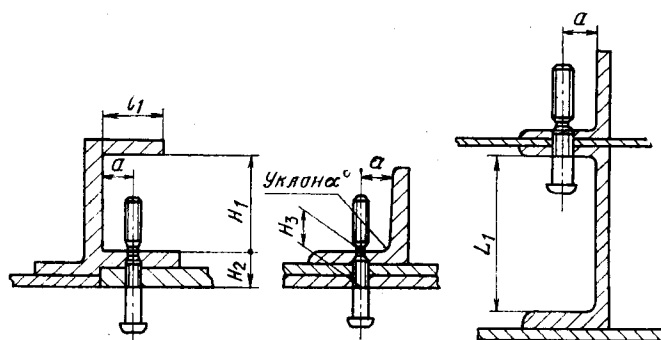
Таблица XIV.2.43

Предельные отклонения стержней болт-заклепок и отверстий при выполнении соединений

Диаметр болт- заклеп- ки, мм	М а т е р и а л с т е р ж н я													
	Д16П				30ХГСА; ВТ-16; 13Х11Н2В2МФ-Ш				30ХГСА; ВТ-16				ВТ-16	
	п о с а д к а													
	h10		Спец.		h10		p6		Переходная				Натяг	
	П р е д е л ь н ы е о т к л о н е н и я													
	стержня	отвер- стия	стержня	отвер- стия	стержня	отвер- стия	стержня	отвер- стия	стержня	отверстия под болт-заклепки		стержня	отверстия под соеди- нение с натягом в %	
									с хвосто- виком	без хво- стовика		0,54—1,2	0,3—1,2	
3,5	h8	H10	+0,10	H12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4,0					—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5,0					h10	H10	p6	H7	+0,022 +0,004	H9	H7	+0,060 +0,040	H7	H9
6,0					—	—	—	—	—	—	—	+0,072 +0,048		
7,0			—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8,0			—		—	+0,15	—	—	—	—	—	—	—	—
10,0	—	—	—	—	h10	H10	p6	H7	+0,026 +0,006	H9	H7	+0,096 +0,062 +0,120 +0,070	H7	H9

Таблица XIV.2.44

Типовые места конструкции



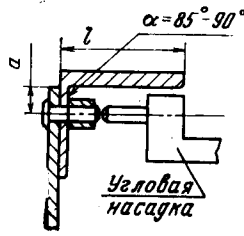
мм

Диаметр болт-заклепки	H_1 , не менее	H_2 и H_3 , не более	H^*_3 , не более	l_1 , не более	a , не менее		L_1 , не менее
					для болт-заклепок из материала		
					30ХГСА	Д16П	
3,5	60	14	10	25	—	8	145
4,0		16	11		8		
5,0		20	15		9		
6,0	95	24	18		11		
7,0				10			
8,0				11			
8,0	110	32	24	40	15	11	340
10,0	120	40	30		17	—	345

* При втягивании болт-заклепок.

Таблица XIV.245

Минимальные расстояния a для постановки болт-заклепок в зависимости от длины полки l и малки α для прессов 2БГ-6, 1БГ-10 с угловыми насадками

Длина полки l , мм				30	40	50	60	70	80	90	105 и т. д.	
Диаметр болт-заклепки, d , мм	3,5	Малка α , град.	90	8,0								
			89	9,0							10,0	
			88	9,5	10,0				11,0			
			87	10,0	10,5	11,0	11,5					
			86	10,5	11,0	12,5	13,0					
			85	11,0	12,0	13,0	13,5					
	4,0		90	8,0	9,0							
			89	9,5	10,0				11,0			
			88	10,5	11,0				12,0			
			87	11,0	12,0				13,0			
			86	11,5	12,5	13,0	14,0					
			85	12,0	13,0	14,0	15,0					
	5,0		90	9,0								
			89	10,0							11,0	
			88	10,5	11,0				12,0			
			87	11,0	12,0				13,0			
			86	11,5	12,5	13,0	14,0					
			85	12,0	13,0	14,0	15,0					
	6,0		90	11,0								
			89	12,0							13,0	
			88	12,5		13,0	13,5	14,0				
			87	13,0	13,5	14,0		15,0				
			86	13,5	14,0	15,0	15,5	16,0				
			85	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0				
	8,0		90	15,0								
			89	16,0	16,5	17,0			18,0			
			88	16,5	17,0	18,0	18,5	19,0	20,0			
			87	17,0	18,5	19,0	20,0		22,0			
			86	18,0	19,5	20,5	21,0	21,5	22,5			
			85	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0			
	10,0		90	17,0								
			89	18,0	19,0	20,0			21,0			
			88	19,0	20,0	21,0			23,0			
			87	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0				
			86	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0				
			85	22,0	23,0	24,0	25,0	27,0				

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАКЛЕПОК ДЛЯ ОДНОСТОРОННЕЙ КЛЕПКИ

Заклепки для односторонней клепки предназначены для выполнения соединения в конструкциях узлов и агрегатов, доступ к которым возможен с одной стороны. По решению главного конструктора заклепки могут быть применены в узлах и агрегатах взамен обычных стандартных заклепок, соединения которыми по условиям подхода не могут быть выполнены прессовым способом.

Типы заклепок и отраслевые стандарты приведены в табл. XIV.2.46. Применение заклепок позволяет упростить конструкцию узлов и агрегатов, снизить их массу, сократить объем ударной клепки, а также трудоемкость и цикл сборки изделий.

Примеры применения заклепок представлены на рис. XIV.2.33—XIV.2.42.

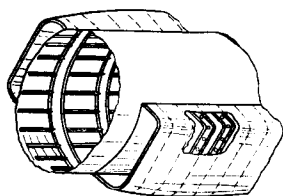


Рис. XIV.2.33. Крепление наружной обшивки канала воздухозаборника.

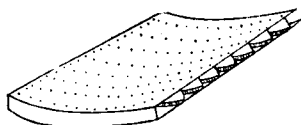


Рис. XIV.2.34. Крепление внутренней обшивки крышек люков.

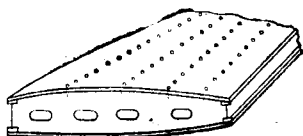


Рис. XIV.2.35. Крепление одной из обшивок в агрегатах оперения.

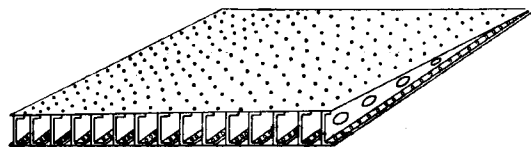


Рис. XIV.2.36. Крепление листов обшивки хвостовых отсеков крыла и агрегатов оперения.

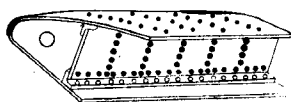


Рис. XIV.2.37. Крепление обшивки и стенки к носкам нервюр.

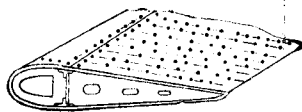


Рис. XIV.2.38. Крепление носков элеронов, щитков закрылков к передним лонжеронам.

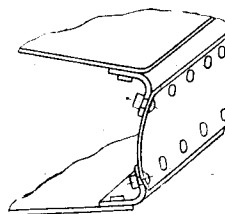


Рис. XIV.2.39. Крепление стенки в хвостовой части элерона.

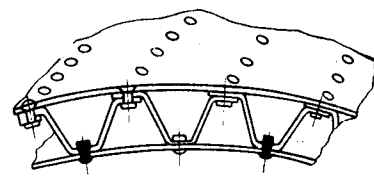


Рис. XIV.2.40. Крепление внутреннего листа панелей с двойной обшивкой.

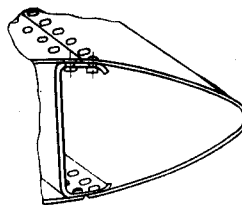


Рис. XIV.2.41. Крепление несъемных носков к переднему лонжерону (крыло, стабилизатор, киль).

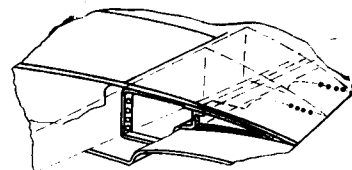


Рис. XIV.2.42. Крепление хвостовых частей нервюр подкрылочной панели к заднему лонжерону и нижней обшивки к хвостовикам нервюр.

Основные требования при проектировании конструкций с использованием соединений заклепками для односторонней клепки

1. При использовании в конструкции узлов и агрегатов заклепок для односторонней клепки (см. табл. XIV.2.46) учитывать:

— прочностные характеристики заклепок, указанные в табл. XIV.2.44 согласно отраслевым стандартам;

— допустимые места расположения заклепок, которые даны в табл. XIV.2.48.

2. Типоразмер заклепки выбирать в соответствии с отраслевым стандартом по фактической толщине пакета (с учетом допусков на толщину всех элементов, входящих в пакет).

3. В чертежах конструкций указывать класс точности отверстий под установку заклепок высокого сопротивления срезу в соответствии с требованиями отраслевых стандартов.

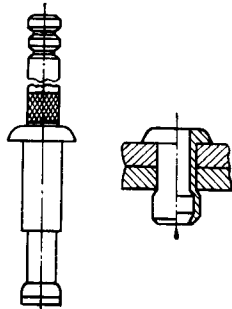
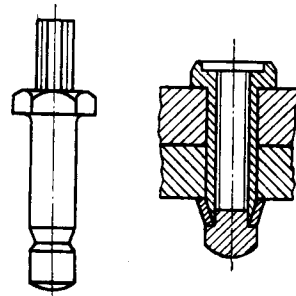
4. Заклепки высокого сопротивления срезу и пустотелые могут применяться в пакетах с плоскостями, имеющими уклон со стороны замыкающей головки не более 4° .

5. В труднодоступных местах конструкций не назначать заклепки высокого сопротивления срезу с потайной головкой.

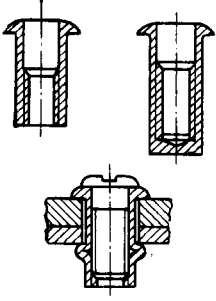
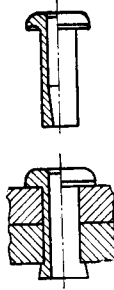
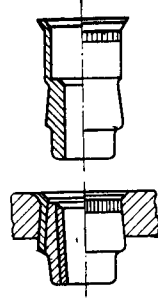
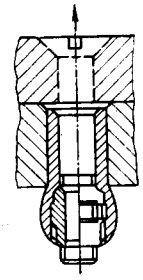
6. При назначении в конструкцию заклепок с сердечником, гаек-пистонов и пустотелых заклепок с потайными головками толщина верхнего листа пакета должна быть больше высоты закладной головки.

Применение заклепок в пакетах с толщиной верхнего листа меньшей или равной высоте закладной головки решается главным конструктором.

Заклепки для одно

Тип заклепки			С сердечником		Высокого сопротивления срезу			
Эскиз								
Материал			Алюминиевый сплав	Нержавеющая сталь	Конструкционная сталь	Нержавеющая сталь	Титановый сплав	
Отраслевые стандарты	Форма закладной головки	Выступающая	ОСТ 1.11296—74	ОСТ 1.10637—72	ОСТ 1.11200—73	ОСТ 1.10809—72	ОСТ 1.11446—74	
		потайная	90°	ОСТ 1.11299—74	ОСТ 1.10640—72	ОСТ 1.11204—73	ОСТ 1.10813—72	ОСТ 1.11449—74
			120°	ОСТ 1.11301—74	ОСТ 1.10642—72	ОСТ 1.11206—73	ОСТ 1.10815—72	ОСТ 1.11451—74
Диаметры, мм			3,5; 4,0; 5,0		4,2; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0			
Толщины пакетов, мм			1—9,5		1,6—25,7			
Масса 1000 шт., кг			0,3—1,5	0,8—3,3	1,2—15		0,7—13	
Техническая документация			ОСТ 1.41599—80	РТМ 1.4.335—77	РТМ 1423—75		—	

сторонней клепки

Гайки-пистоны		Пустотелые	Самоконтрящиеся анкерные гайки	Самоконтрящиеся анкерные гайки и корпуса к ним
				
Алюминиевый сплав	Конструкционная сталь	Алюминиевый сплав	Нержавеющая сталь	Нержавеющая сталь
ОСТ 1.11193—73 ОСТ 1.11199—73 — глухие	ОСТ 1.11194—73	ОСТ 1.10644—72	—	—
—	—	—	ОСТ 1.11395—74	ОСТ 1.30034—77 ÷ ÷ ОСТ 1.30036—77
ОСТ 1.11195—73	ОСТ 1.11196—73	ОСТ 1.10645—72	—	—
5,0; 6,0		2,6; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0	Резьба в гайке М4; М5; М6	Резьба в гайке М5; М6; М8; М10
0,6—10,5		1,0—1,5	1,5—5,0	5,0—30,0
0,3—5,5 (без винта) 0,7—1,7 (с винтом) 1,5—3,8 (с болтом)	0,7—1,2 (без винта) 2,0—3,3 (с винтом или болтом)	0,05—1,45	1,0—2,3	1,05—4,1
РТМ 1.4.376—77		РТМ 1507—75	ТР 1.4.428—78	—

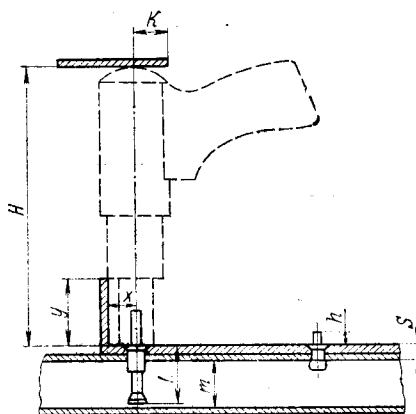
Разрушающие усилия заклепок для односторонней клепки при статическом нагружении

Заклепки		Разрушающие усилия, кгс, не менее													
Тип	Диаметр, мм	на срез для односрезного шва	при осевом нагружении	на срез для односрезного шва				при осевом нагружении				на срез для односрезного шва		при осевом нагружении	
		При температурах, °С													
		25	25	200	300	400	25	200	300	400	25	130	25	130	
Высокого сопротивления срезу		для материалов													
		конструкционная сталь		нержавеющая сталь								титановый сплав			
	4,2	680	390	800	710	650	580	390	350	320	300	600	520	390	370
	5,0	1100	500	1100	800	750	700	500	460	420	380	800	670	500	480
	6,0	1600	850	1600	1400	1280	1000	850	810	700	640	1200	1020	850	840
	7,0	2200	1400	2200	1800	1600	1400	1400	1100	900	800	1500	1300	1400	1230
	8,0	2900	1550	2900	2250	2000	1800	1550	1400	1280	1000	1800	1600	1550	1400
С сердечником		алюминиевый сплав		нержавеющая сталь											
	3,5	230	130	480	450	430	400	380	—	—	—	—	—	—	—
	4,0	330	150	700	630	600	560	450	—	—	—	—	—	—	—
	5,0	540	200*; 250**	1000	900	850	800	700	—	—	—	—	—	—	—
Гайки-пистоны		алюминиевый сплав		конструкционная сталь											
	5,0	300	200	500	—	—	—	350	—	—	—	—	—	—	—
	6,0	450	250	450	—	—	—	250	—	—	—	—	—	—	—
Пустотелые		алюминиевый сплав		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2,6	35	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3,0	60	90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3,5	75	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4,0	120	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5,0	190	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6,0	240	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Для заклепок № 9 и 10 — ОСТ 1.11296—74; 7 и 8 — ОСТ 1.11299—74 и ОСТ 1.11301—74.

** Для заклепок № 11—13 — ОСТ 1.11296—74; 9—11 — ОСТ 1.11299—74 и ОСТ 1.11301—74.

Основные характеристики мест расположения заклепок для односторонней клепки, обеспечивающие возможность применения их в конструкции



Заклепки		Технологический процесс	Величина выступания сердечника винта h , мм	Расположение заклепки				m^{**}	Модель инструмента
тип	материал			X миним.	Y макс.	K^* миним.	H миним.		
С сердечником	Алюминиевый сплав	Постановка	2,5—5,5	9,5 14	33 S	70	200	12—21	1СПГ-5
		Постановка, откусыва- ние	1—1,5	10 28	33 S	30	200		1СПГ-5 ПК-52
		Постановка, отрезка	0,2	10 28	29 S	70	200		1СПГ-5 ОМ-3
		Постановка, откусыва- ние или отрезка, зачи- стка	0,01	24 30	33 S	30	220		1СПГ-5 ПК-52 или ОМ-3, ФМ-1
	Нержавеющая сталь	Постановка	2,5—5,5	10 19 22	34 75 S	22	200		1СГ-5
		Постановка	2,5—5,5	9,5 14	33 S	70	200		1СПГ-5
		Постановка, откусыва- ние	1,5—2,0	15*** 40	34 S	22	200		1СГ-5 ПК-53
		Постановка, откусыва- ние	1,5—2,0	12 40	33 S	40	200		1СПГ-5 ПК-53
		Постановка, откусыва- ние, зачистка	0,01	17*** 40	22 S	22	210		1СГ-5 ПК-53 ЗМ-1
		Постановка, откусыва- ние, зачистка	0,01	17 40	22 S	40	210		1СПГ-5 ПК-53 ЗМ-1
Высокого сопро- тивления срезу	Конструкционная, не- ржавеющие стали, тита- новый сплав	Постановка	—	9 12	28 S	40 250	290 145	10—15	1ВП-8У, 8П, 8Т
Пустотелые	Алюминиевый сплав	Постановка	—	8 16 20 40	35 140 280 S	S	560	12—20	1ПП-6
Гайко-пистоны	Алюминиевый сплав, конструкционная сталь	Постановка, завинчива- ние болта или винта	—	10 12 23	34 200 S	S	280	15—20	ИОК-ГП2

* С увеличением размера K высота H увеличивается на величину захвата инструмента рукой.

** Величина m зависит от типоразмера заклепки: $m_{\min} > L - s$.

*** Минимальный шаг заклепочного шва 30 мм.

7. При использовании в конструкциях заклепок с сердечником, гаек-пистонов и пустотелых заклепок рекомендуется:

— не применять со стороны замыкающих головок детали из материала, механические свойства которых ниже, чем материала корпуса заклепки;

— не располагать заклепки на сбегах подсечек элементов конструкции.

8. При использовании заклепок с сердечником и гайк-пистонов в соединениях с переменной толщиной пакета должна быть обеспечена параллельность плоскостей.

9. Заклепки пустотелые и гайки-пистоны предназначены для постановки в несилowych соединениях.

10. Самоконтрящиеся анкерные гайки из нержавеющей стали по ОСТ 1.11395—74 предназначены для односторонней постановки в нерасчетных разъёмных соединениях, работающих при температурах до 200 °С, где не действуют осевые растягивающие усилия.

11. Самоконтрящиеся анкерные гайки из нержавеющей стали по ОСТ 1.30034—77÷ОСТ 1.30036—77 предназначены для односторонней постановки совместно с корпусами в соединениях, работающих при температурах до 400 °С.

ЛИТЕРАТУРА

Клепка металлических конструкций заклепками по ГОСТ 14797—75÷ГОСТ 14803—75. ПИ 249—78. НИАТ, 1979.

Отраслевой типаж специализированного оборудования и ручного механизированного инструмента для выполнения заклепочных, болтовых и болт-заклепочных соединений на 1981—1985 гг. НИАТ, 1981.

Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. НИАТ, 1972.

Рекомендации по технологичности специзделий. НИАТ, 1972. Григорьев В. П. Сборка клепаных агрегатов самолетов и вертолетов. М., «Машиностроение», 1975.

Оценка влияния конструктивных и технологических факторов на герметичность и прочность клепаного шва. РТМ-689. НИАТ, 1952.

Профили прессованные. Каталог. М., ВИЛС, 1965—1966.

Клепка стеклотекстолитовых конструкций. РТМ-1291. НИАТ, 1971.

Клепка конструкций, содержащих детали из углепластиков. РТМ-1.4.441—78, НИАТ, 1979.

Выполнение высокоресурсных герметичных соединений заклепками с компенсатором. РТМ-1.4.477—78. НИАТ, 1980.

Соединение деталей и узлов болт-заклепками с технологическим хвостовиком. ОСТ 1.42052—80÷ОСТ 1.42054—80.

Выполнение неразъемного соединения заклепками с сердечником из алюминиевого сплава. Типовой технологический процесс. ОСТ 1.41599—80.

Соединения заклепками с сердечником из нержавеющей стали. РТМ-1.4.335—77. НИАТ, 1977.

Соединения заклепками высокого сопротивления срезу для односторонней клепки из конструкционной и нержавеющей стали. РТМ 1423—75. НИАТ, 1976.

Выполнение соединений гайко-пистонами из алюминиевого сплава и конструкционной стали. РТМ 1.4.376—77. НИАТ, 1980.

Выполнение соединений пустотелыми заклепками из алюминиевого сплава. РТМ-1507, НИАТ, 1975.

Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В конструкциях современных и перспективных самолетов одними из основных соединений остаются болтовые благодаря их высокой надежности при передаче сосредоточенных и распределенных нагрузок высокого уровня.

Выполнение болтовых соединений — одна из ответственных и трудоемких операций на завершающих этапах узловой, агрегатной и окончательной сборки планера, при монтаже оборудования, силовых установок, систем органов управления полетом и взлетно-посадочных средств, к качеству которых предъявляются все возрастающие требования, вызванные необходимостью доведения ресурса самолетов до 50—60 тыс. летных часов.

Определившаяся тенденция создания машин тяжелого класса привела к значительному повышению количества болтовых соединений на изделиях (150—200 тыс.), увеличению их диаметров (до 50 мм), а также росту удельного веса соединений, выполняемых по 2—3-му классам точности (45—65%).

Выносливость болтовых соединений может быть значительно повышена специальными конструктивно-технологическими методами (упрочняющая тех-

нология, высокие радиальные и осевые натяги при постановке крепежа и т. д.), с помощью которых создается благоприятное напряженно-деформированное состояние в зоне силовых точек.

Объем сборочных и монтажных работ, основной составной частью которых является выполнение болтовых соединений, равняется 45—55% общей трудоемкости, а производственный цикл их выполнения занимает 50—75% всего цикла изготовления изделия. Поэтому разработка и внедрение средств механизации при образовании отверстий, постановке болтов, обеспечение стабильно высокого качества применяемых технологических процессов, повышение уровня технологичности самолетных конструкций оказывает решающее влияние на улучшение технико-экономических показателей производства в целом и составляет часть общей задачи по снижению трудоемкости изделий, выпускаемых предприятиями отрасли.

Настоящие рекомендации разработаны с учетом выполнения основных требований, предъявляемых к изделиям, снижения веса конструкций и повышения ресурса наряду с обеспечением технологичности в серийном производстве и эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Основными направлениями по повышению технологичности и качества болтовых соединений являются:

1. Комплексное решение задач технологичности, всесторонний учет всех факторов на стадиях эскизного и рабочего проектирования, а также опытного и серийного производства.

Отработка технологичности на ранних стадиях проектирования наиболее эффективна и дает 75% общей эффективности мероприятий, проводимых в этом направлении на всех этапах создания самолета.

2. Совершенствование конструкций в целях обеспечения возможности широкого использования средств механизации на всех этапах технологических процессов выполнения соединений.

А. На этапах сверления, зенкования, обработки фасок под галтели болтов, снятия заусенцев

Применение:

— механизированных полуавтоматических стационарных сверлильных установок для каркасных узлов из алюминиевых сплавов типа СУ (СУ-Л, СУ-ШН, СУ-ШС);

— сверлильно-зенковальных установок СЗУ на базе сверлильно-зенковальных агрегатов СЗА-02М (СЗУ-ЦК, СЗУ-ПЦК, СЗУ-ДЦК);

— ручных механизированных средств, ручных сверлильных машин типа СМ, ИП, МС, агрегатных головок, сверлильных машин типа АСП.

Б. На этапах окончательной обработки точных отверстий

Применение высокоэффективных процессов образования точных отверстий:

— стационарными установками на базе агрегатов СЗА;

— осевым протягиванием, протягиванием с принудительным вращением инструмента пистолетами типа РПУО, РПУР, РПУВ с помощью передвижных пневмогидравлических агрегатов (мультипликаторов) типа МПГ, что позволяет использовать менее квалифицированный труд, в 3—4 раза повысить производительность труда, в 2—3 раза снизить трудоемкость сборочных операций;

— механизированным развертыванием в один проход либо комплектом инструмента в несколько проходов ручными пневматическими машинами для развертывания типа РПРМ, что позволяет свести к минимуму ручное развертывание на стадиях окончательной сборки изделий.

В. На этапах постановки болтов, обеспечения тарированной затяжки гаек, контровки

Применение ручного резьбозавертывающего инструмента типа ИП, РЗМПУ, ГУП, средств постановки болтов с натягом: пистолетов, скоб

РПУЗ, ПГУЗ, РПУЗР, одноударных пневматических молотков МПБН, пневмокернеров и т. д.

3. Сокращение конструктивно-технологических типоразмеров элементов, входящих в болтовое соединение, что позволяет использовать типовые технологические процессы, инструмент и оборудование для его выполнения.

4. Замена болтовых соединений заклепочными: заклепками с высоким сопротивлением срезу для односторонней клепки и болт-заклепками, что позволяет снизить массу конструкции и трудоемкость сборочных работ.

В зависимости от типов закладных головок, диаметров болтов, заклепок и болт-заклепок масса таких соединений на 10—40% меньше массы болтовых; трудоемкость и себестоимость выполнения заклепочных и болт-заклепочных соединений ниже в 1,5—2 раза по сравнению с трудоемкостью и себестоимостью болтовых соединений.

5. Оптимальное конструктивное и технологическое членение агрегатов с учетом обеспечения необходимых подходов к местам обработки в зависимости от предполагаемых способов образования отверстий и постановки болтов.

РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

При разработке и создании самолетных конструкций для обеспечения технологичных и качественных болтовых соединений следует руководствоваться следующими положениями:

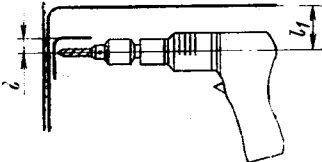
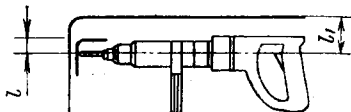
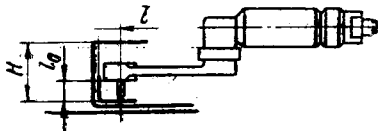
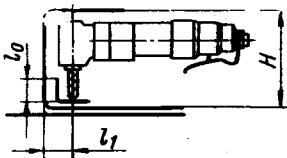
✓ 1. При проектировании элементов конструкций предусматривать, по возможности, открытые подходы к местам обработки отверстий и постановки болтов, затяжки гаек на операциях сборки и с габаритами, позволяющими использовать высокопроизводительные методы, оборудование и средства механизации (табл. XIV.3.1—XIV.3.5).

2. Конструкции узлов, отсеков и агрегатов должны обеспечивать возможность образования отверстий режуще-деформирующим протягиванием, протягиванием с принудительным вращением инструмента, механизированным развертыванием. При этом следует учитывать, что наибольшей выносливостью обладают соединения, отверстия в которых образованы режуще-деформирующим протягиванием; протягивание с принудительным вращением инструмента и развертывание равноценны.

3. Поверхностная пластическая обработка отверстий режуще-деформирующим протягиванием сопровождается образованием корсетности полученных отверстий и выдавливанием кромок, происходящих из-за трудностей обеспечения плотного сжатия пакета непосредственно около отверстия, что приводит к большим контактным напряжениям от сжатия пакета гайкой, неравномерности давления пакета на стенки отверстий и, как результат, к интенсификации развития фреттинг-коррозии.

Для уменьшения выдавливания кромок рекомендуется перед деформирующе-выглаживающей обработкой снимать фаски, обычные для болтовых соединений, как с наружных сторон пакета, так и внутри, если можно произвести его разборку.

Основные характеристики мест конструкции, обеспечивающие возможность сверления отверстий под болты и зенкования гнезд ручными сверлильными машинами

Подход для инструмента	Эскиз	Характеристика обрабатываемых мест конструкции, мм						Модели сверлильных машин
		материал	максимальный диаметр отверстия	минимальное расстояние от оси отверстия до стенки профиля		минимальная высота профиля		
				низкого l	высокого l_1	низкого l_0	полукрытого H	
Свободный		Алюминиевые и магниевые сплавы, стали средней твердости	6	Определяется в зависимости от конструктивных особенностей	28	—	—	СМ11-6-700 СМ21-9-2500 ИП-1019
			9		33	—	—	
			12		33	—	—	
		Нержавеющие и жаропрочные стали, титановые сплавы	6		28	—	—	СМ11-6-700 МС6 СМ21-9-1000 СМ21-9-300 МС-9 ИП-1011
			9		27	—	—	
			33		—	—		
		Алюминиевые и магниевые сплавы, стали средней твердости	14		35	—	—	ИП-1022
			Нержавеющие и жаропрочные стали, титановые сплавы		14	35	—	
Стесненный		Алюминиевые и магниевые сплавы, стали средней твердости		6	16	—	35	75
			8	14	—	50	60	
		Нержавеющие и жаропрочные стали, титановые сплавы	6	20	20	35	180	СМУ21-6-500 ИП-1104
			9	—	28	30	200	

Основные характеристики узлов из алюминиевых и магниевых сплавов, обеспечивающие возможность обработки отверстий и гнезд под болты на сверлильных стационарных и встраиваемых установках

Панели и узлы	Характеристика обрабатываемых узлов и панелей						Модели установок
	максимальные габаритные размеры обрабатываемых узлов, мм			максимальные диаметры обрабатываемых отверстий, мм	класс точности отверстий	максимальная толщина обрабатываемого пакета (в долях d)	
	длина	ширина (диаметр)	наименьший радиус сферы шпангоута				
Плоские каркасные узлы типа: лонжеронов, балок, нервюр	15 000	1500	—	10	A ₄ —A ₅	3	СУ-Л (УСД-1)
полушпангоутов и нервюр	3500	2000	—	10	A ₄ —A ₅	3	СУ-ШН
крупногабаритных шпангоутов сферической формы	—	5000	2500	8	A ₄ —A ₅	4	СУ-ШС
Панели плоские и одинарной кривизны	Без ограничения			8	A ₃ —A ₄	5	АСП-8

✓ 4. При назначении точности отверстий под болты в пакетах, содержащих алюминиевые, титановые сплавы, стальные элементы, руководствоваться тем, что

✓ — в двухслойных пакетах наиболее благоприятной является обработка в направлении с цветного сплава на сталь либо на титановый сплав, в связи с чем следует обеспечить необходимые подходы со стороны входа — выхода инструмента, в зависимости от предполагаемого способа обработки;

✓ — необходимо ограничивать применение соединений, выполняемых по 2-му классу точности.

✓ Обработку отверстий 2-го класса точности в пакетах из алюминиевых и титановых сплавов и закаленных сталей производить методом развертывания в соответствии с ТР 1.4.317—77 [14].

✓ 5. Необходимо ограничивать в конструкциях изделий пакеты, состоящие из разнородных материалов с расположением более прочного материала (сталь, титан) между менее прочными элементами меньшей толщины из цветных сплавов, так как при образовании отверстий под болты диаметры их со стороны входа инструмента гораздо больше, чем в более прочном материале, что приводит к большим трудностям получения точности при обработке.

Рекомендуется при обработке отверстий применение высокопроизводительного метода протягивания с принудительным вращением инструмента в соответствии с ТР-1.4.318—77 [15].

Достижимая точность обработки при использовании данного метода:

2-й класс — в пакетах из алюминиевых сплавов, смешанных пакетов из алюминиевых сплавов и закаленных сталей;

2а — 3-й классы — в пакетах из алюминиевых и титановых сплавов.

✓ 6. Для обеспечения высокого ресурса болтовых соединений в узлах, элементах конструкций с по-

вышенными требованиями рекомендуется применять болты (посадки С, С₃, Х, Х₃, ПЛ) из высокопрочных сталей с $\sigma_b = 150\text{—}200$ кгс/мм², что позволяет увеличить затяжку, повысить жесткость соединяемых конструкций.

✓ 7. Следует ограничивать применение конических болтов, несмотря на высокие показатели выносливости таких соединений, из-за большой трудоемкости их выполнения.

✓ 8. Длины болтов, устанавливаемых с зазором, выбирать в зависимости от толщины пакета с учетом толщины шайбы, высоты гайки и вида контрорки.

✓ 9. Для болтов 2—3-го классов точности, работающих на срез, по условиям прочности необходимо, чтобы гладкая часть выступала из пакета на величину не более 1 мм или была заподлицо с ним по нормали 798АТ и РТМ-1438 [4].

✓ 10. Резьбовая часть болтов должна выступать из пакета с учетом толщины шайбы и вида контрорки согласно нормали 261АТ, 184АТ.

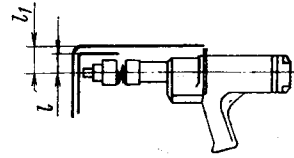
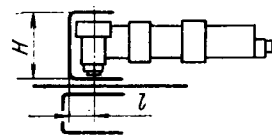
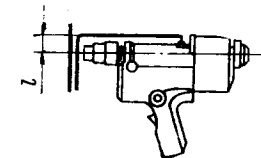
✓ 11. Длина гладкой части болтов 4—5-го классов точности должна быть равна толщине пакета или меньше ее на величину 0,5 шага резьбы при плотно затянутом пакете.

✓ 12. Назначение величины крутящих моментов для затяжки гаек болтовых соединений производить по ОСТ 1.00017—71 [11].

✓ 13. При проектировании болтовых соединений узлов, агрегатов, изделий руководствоваться РТМ-1438 [4].

При выполнении соединений в сталях, титановых и смешанных пакетах руководствоваться требованиями Генерального конструктора, действующими на предприятиях производственными инструкциями с соблюдением требований ВИАМа, НИАТа.

Основные характеристики мест конструкций, обеспечивающие возможность использования средств механизированной обработки отверстий под болтовые соединения

Операция	Характеристика подхода к месту обработки	Эскизы машин и типовых мест их применения	Характеристика обрабатываемых мест конструкций, мм					Модель машины	Силовые характеристики машин			Масса машины, т	Код технологического модуля
			материал	диаметр отверстия	минимальное расстояние оси обрабатываемого отверстия от ограничивающей стенки профиля		минимальная высота полуоткрытого профиля H		максимальная мощность на шпинделе N , Вт	максимальное тяговое усилие P , кгс	максимальный крутящий момент на винте $M_{кр}$, кгс·м		
					низкого l	высокого l_1							
Развертывание	Свободный		Смешанные пакеты, включающие алюминиевые, стальные и титановые элементы	6—12	40	50	—	РПРМ-12М	294	—	—	3,6	41250041
	Стесненный		То же	6—12	40	—	130	РПРМ-12СТ	367	—	—	3,1	41250042
	Свободный		»	13—20	40	—	—	РПРМ-20	440	—	—	5,1	41250043

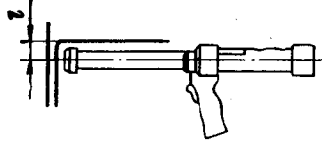
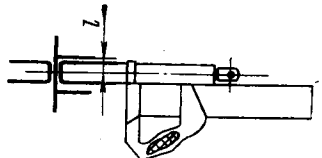
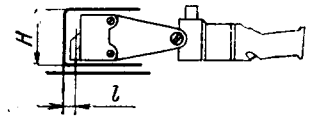
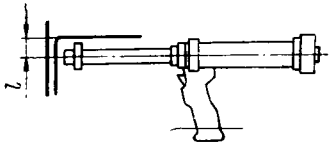
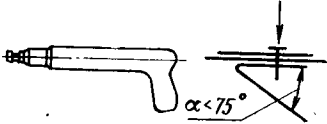
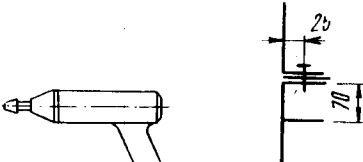
Свободный		Смешанные пакеты, включающие алюминиевые и стальные элементы	12—20	23 (на расстоянии 200 мм от опорного торца)	—	—	РПУО-220-20	—	5000	—	4,0	41830001
Стесненный		То же	5—12	12	—	—	РПУ-150-12СТ	—	2500	—	3,5	41830002
Стесненный		»	5—12	12	—	110	РПУР-80-12	—	2500	—	5,0	41830004
Свободный		Смешанные пакеты, включающие стальные и титановые элементы	5—12	25	—	—	РПУВ-180-12	—	2000	400	4,5	41830003

Таблица XIV.3.4

Основные характеристики мест конструкций, обеспечивающие возможность использования средств механизированной постановки болтов

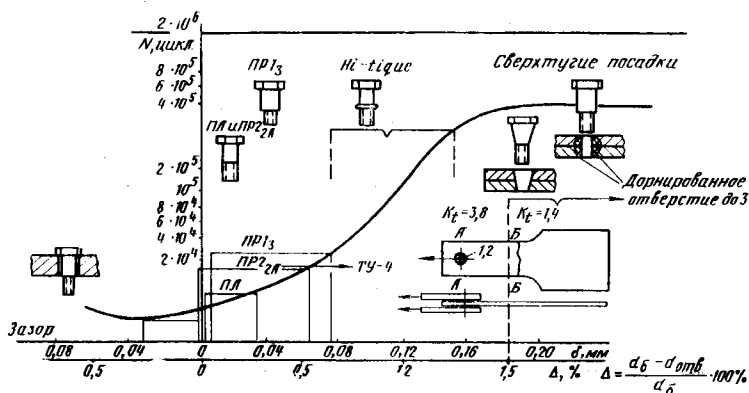
Опера-ция	Характери-стика подхо-да	Эскиз устройства, схемы подходов	Диаметр устанавливаемых болтов, мм	Толщина пакета, мм	Модель устройства	Макси-мальное усилие, развиваемое устройством, кгс	Код техно-логического модуля
Затягивание	Свободный		6—12	до 5d	УПГ-4 (РПУЗ-4-60)	4000	88230002
	Стесненный		6—8 8—10 6—10	1,5d до 5d	2БГ-6 1БГ-10 1БНП-10 РПУЗР-3-70	2700 7000 1500 3000	88230003
Запрессовка	Свободный		6 8	3d 2,5d	ПГУЗ-2-40 (компонов-ки У, П)	2000	88230001
			6—10	от 3,5d до 5d	ПГУЗ-3-70 (компонов-ки У, П, С)	3000	88230001
			6 8	≤ 5d ≤ 4d		3000	88230001

Опера-ция	Характери-стика подхо-да	Эскиз устройства, схемы подходов	Диаметр устанавливаемых болтов, мм	Толщина пакета, мм	Модель устройства	Макси-мальное усилие, развиваемое устройством, кгс	Код техно-логического модуля
Ударная запрессовка	Свободный		6	$\leq 3d$	МПМБ-5	5,0 (кгс·м)	—
Затягивание гайковертом или гаечным ключом (ГОСТ 2839—71)	Стесненный		6—20	$\geq 3d$	см. табл. XIV.3.5		см. табл. XIV.3.5

ВЫСОКОРЕСУРСНЫЕ БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Особенности и преимущества соединений, выполняемых с упруго-пластическим натягом

1. Применение соединений стальными, титановыми болтами с упруго-пластическим натягом, который определяется как отношение разности диаметров гладкой части болтов и подготавливаемых отверстий к диаметру болта, $\bar{\Delta} = \frac{d_6 - d_{отв}}{d_6} \cdot 100\%$, позволяет значительно повысить усталостную прочность двухсрезного соединения за счет высоких радиальных напряжений и наклепа отверстий (см. рисунок).



Влияние посадки болта в отверстие на выносливость при $\sigma_{max} = 13,2 \text{ кгс/мм}^2$ и $R = 0,25 \text{ мм}$.

2. Конструкции болтов с натягом, основные характеристики необходимых подходов, позволяющих осуществить различные способы их постановки при создании самолетных конструкций, представлены в табл. XIV.3.6,

3. В связи с тем, что нижний предел натягов ограничивается требованиями обеспечения необходимой выносливости и герметичности соединений, а верхний — коррозией под напряжением, оптимальными натягами являются $\bar{\Delta} = 0,6—1,2\%$ [3].

4. Применение соединений с упруго-пластическим натягом позволяет производить герметизацию топливных отсеков крыла, герметичных зон фюзеляжа по облегченной схеме без применения поверхностной герметизации и тем самым снизить массу разрабатываемых изделий.

Рекомендации по технологичности высокоресурсных болтовых соединений с натягом

1. Точность отверстий под болты с натягом назначать по 2—3-му классам точности, исходя из требований получения приемлемых величин разброса натягов и значений выносливости соединений.

2. Под болты, устанавливаемые с натягом, рекомендуется предусматривать выполнение деформирующе-выглаживающего протягивания точных отверстий, что позволяет:

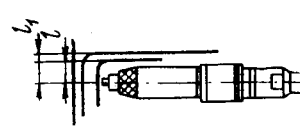
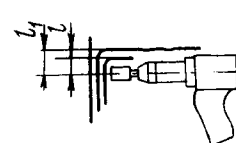
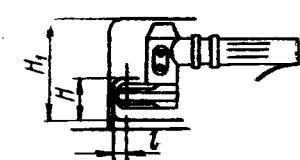
— значительно улучшить качество поверхности стенок отверстий, снижая их шероховатость с ∇ до ∇ ;

— уменьшить разброс величин натягов за счет снижения высоты микронеровностей на поверхности;

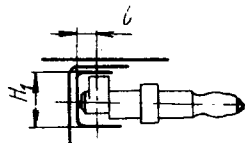
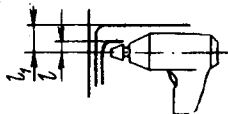
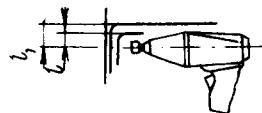
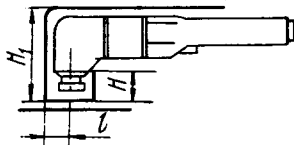
— обеспечить нагартовку материала стенок отверстий, в результате чего на 20—30% повышается твердость, что снижает вероятность задиоров при постановке болтов;

— предохранить поверхность от фреттинг-коррозии, а следовательно, значительно отдалить начало усталостного разрушения;

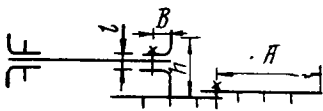
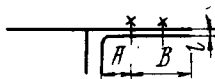
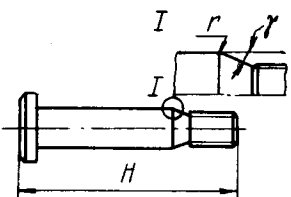
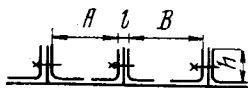
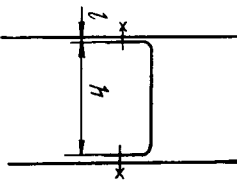
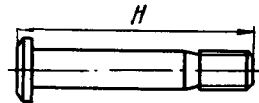

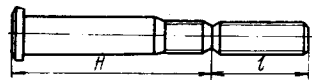
Основные характеристики мест конструкции, обеспечивающие возможность использования средств механизированной постановки гаек болтовых соединений

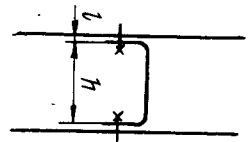
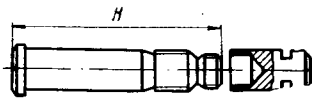
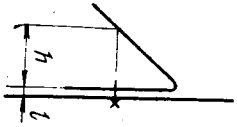
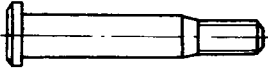
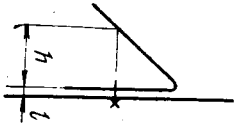
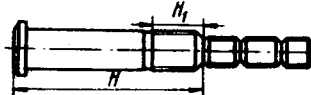
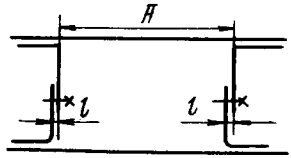
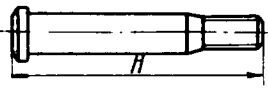
Операция	Условия подхода	Эскизы машин и типовых мест их применения	Характеристика обрабатываемых мест конструкции, мм						Модель резьбозавертывающей машины	Максимальный крутящий момент, развиваемый устройством, $M_{кр}$, кгс·м	Масса устройства, т	Код технологического модуля
			максимальный диаметр резьбы	минимальное расстояние оси болта (винта) от ограничивающей стенки профиля		минимальная высота полукруглого профиля						
				низкого l	высокого l_1	низкого H	высокого H_1					
Свинчивание винтов	Свободный		M4 M5	22	30	—	—	ВП 02.000 ВП 08.000	0,2 0,8	0,8 0,9	88310001	
Свинчивание винтов, болтов, гаек; затяжка			M6 M8	20	40	—	—	РЗМП-21-8-160	1,6	2,0	88310021	
Свинчивание и затяжка гаек и болтов	Стесненный		M6 M8	17	—	35	180	РЗМПУ-21-8	3,2	2,8	88310022	

Свинчивание и затяжка гаек и болтов

Стенный		M8 M10 M12	20 20 22	— — —	— — —	90 90 100	ГУП-2 ГУП-4 ГУП-6	2,0 4,0 6,0	1,7 1,9 2,4	88310023
		M12 M14 M18	15 17 20	30 30 36	— — —	— — —	ИП-3111 ИП-3112 ИП-3113	6,3 10,0 25,0	2,0 2,5 3,0	88310024
			M16	20	40	—	—	ГПР-И-8	3—16	4,0
Стенный		M14	30	—	10	135	ИП-3207	10,0	3,0	88310025

Основные характеристики типовых конструкций изделий и применяемых болтов, устанавливаемых с упруго-пластическим натягом

Типовые конструкции	Геометрические параметры, мм	Конструкция болта	Тип нормали	Способ постановки
	$l \leq 5d$; $h \leq 200$; $A \leq 1000$ $B = d + H$			Запрессовка
	$l \leq 5d$; $A = d + 4$; $B \leq 60$		Без технологического хвостовика	»
	$l \leq 5d$; $A \geq H + 30$; $B \geq d + 50$; $h \leq 60$			»
	$l \leq 3d$; $h < l$			»
	$l \leq 5d$; $h \geq 150$		С технологическим хвостовиком укороченным	Затягивание
	$l \leq 5d$; $h \geq H$		С технологическим хвостовиком удлиненным	»

	$l \leq 5d;$ $h \geq H$		<p>С технологическим хвостовиком укороченным</p>	<p>»</p>
	$l \leq 3d;$ $h < l$		<p>Без технологического хвостовика</p>	<p>Запрессовка</p>
	$l \leq 5d;$ $h \geq 2H$		<p>С технологическим хвостовиком удлиненным секционным</p>	<p>Затягивание</p>
	$l \leq 3d;$ $A \geq 300$		<p>Без технологического хвостовика</p>	<p>Запрессовка ударная</p>

— проконтролировать отверстие на присутствие трещин и задиров, которые могут появиться в процессе пластической деформации стенок отверстий;

— значительно снизить усилие запрессовки (на 25—35%), так как болту практически не приходится преодолевать пластические деформации стенок отверстий.

3. Следует учитывать, что при деформирующе-выглаживающем протягивании в тонком материале (пакете) отверстий, имеющих относительную толщину $\frac{\delta_{\text{мат}}}{d_{\text{отв}}} \leq 1$, относительное искажение обрабатываемой поверхности, или корсетность, более значительны, чем в более толстом материале. Поэтому натяг при деформирующе-выглаживающей обработке отверстий в пакетах толщиной $\frac{\delta_{\text{мат}}}{d_{\text{отв}}} \leq 1$ не должен превышать 0,5%.

4. Для потайных соединений, где обеспечение натягов под головкой болта затруднено, эффект повышения выносливости тем ниже, чем больше отношение высоты конуса потайной головки к толщине обшивочного листа или пакета.

Для повышения выносливости потайных соединений рекомендуется предусматривать упрочнение обжатием гнезд давлением $P=40\text{—}50$ кгс/мм² специальными обжимками или непосредственно головкой потайного болта.

5. В случаях, когда соединения с повышенными требованиями усталостной прочности требуют внутришовной герметизации, необходимо применять соединения с натягом при обеспечении хорошего контакта соединяемых поверхностей, так как наличие неровностей, коробление под усилием затяжки приводит к интенсификации развития фреттинг-коррозии.

6. При проектировании соединений стальными, титановыми болтами с натягом необходимо руководствоваться тем, что основными методами их постановки являются:

- затягивание технологическим хвостовиком, затяжными устройствами;
- запрессовка ручными пневмоскобами, на прессах;
- ударная запрессовка одноударными молотками.

7. Учитывая, что метод постановки болтов (болт-заклепок) с натягом затягиванием технологическим хвостовиком обеспечивает наилучшие условия беззадиристой постановки — устойчивую их центровку, сжатие пакета, стабильность и меньшую величину усилий, — рекомендуется применять в конструкциях болты с технологическими хвостовиками для всех диапазонов толщин соединяемых пакетов, особенно для пакетов толщиной свыше $3d$.

Кроме того, преимуществом данного метода является расширение области применения обычно используемых при обработке точных отверстий пневмогидравлических протяжных устройств с угловыми или пистолетного типа головками.

8. Рекомендуется применять специальные болты с удлиненными ступенчатыми технологическими хвостовиками в местах с ограниченными, стесненными подходами к узлам и агрегатам собираемых изделий.

9. В панелях одинарной кривизны, в узлах типа лонжеронов, шпангоутов, нервюр в пакетах толщиной до $3d$ можно применять стальные, титановые болты без технологических хвостовиков, предполагая запрессовку выполнять с помощью модернизированного прессового стационарного, переносного оборудования различного типа, что позволяет уменьшить расход материалов на изготовление специальных хвостовиков, удаляемых после затяжки.

10. При проектировании элементов соединений с натягом необходимо учитывать, что ударная запрессовка применима только в пакеты толщиной не более $3d$, где невозможно использование методов затягивания технологическим хвостовиком и запрессовки с помощью механизированных средств постановки.

11. Для болтов, устанавливаемых с натягом, переходная конусная часть должна выступать из пакета в соответствии с требованиями ТР-1160—75 [3].

12. При выборе геометрических параметров болтовых соединений с натягом, удовлетворяющих технологическим требованиям, выборе оптимального варианта технологического процесса и инструмента для его выполнения и проведении контроля качества руководствоваться ТР-1160—75, для болт-заклепочных соединений с натягом — ТР-1163—75 [12].

Требования при производстве болтовых соединений

✓ 1. Операции выполнения болтовых соединений в собираемых узлах, агрегатах назначать в зависимости от формы, размеров, материалов, толщины пакетов, диаметров отверстий, болтов, условий подходов в соответствии с технологическими модулями.

2. В целях возможности широкого использования средств механизации на всех этапах технологического процесса болты в конструкциях располагать, руководствуясь данными, изложенными в табл. XIV.3.1—XIV.3.6.

3. Характеристики необходимого оборудования, средств механизации, использование которых обеспечивает стабильное получение высококачественных болтовых соединений на изделиях, указаны в типаже [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вигдорчик С. Л., Пширков В. Ф., Воронов В. Ф. Методы повышения ресурса соединений элементов конструкций. Вып. 1. ЦАГИ, 1974.
2. Ярковец А. И., Григорьев В. П. и др. Влияние технологии выполнения соединений на ресурс. Вып. 1. ЦАГИ, 1974.
3. ТР-1160—75. Выполнение болтовых соединений с упруго-пластическим натягом. НИАТ, 1975.
4. РТМ-1438. Выполнение болтовых соединений в конструкциях из алюминиевых сплавов. Ч. 1. НИАТ, 1973.

5. ТР 1.4.150—76. Механизированное развертывание точных отверстий в однородных и смешанных пакетах из алюминиевых, титановых сплавов и высокопрочных сталей в агрегатно-сборочном производстве. НИАТ, 1973.

6. РТМ-1384. Протягивание точных отверстий в однородных и смешанных пакетах, состоящих из алюминиевых сплавов и высокопрочных закаленных сталей. НИАТ, 1972.

7. Отраслевой типаж специализированного оборудования и ручного механизированного инструмента для выполнения заклепочных, болтовых и болт-заклепочных соединений на 1976—1980 гг. НИАТ, 1975.

8. Сборник технологических модулей на операции:

Сверление отверстий (6—8 мм)	41250031
Развертывание точных отверстий (6—12 мм)	41250041
(6—12 мм в стесненных зонах)	41250042
(13—20 мм)	41250043
Протягивание точных отверстий	41830001
	41830002
	41830003
	41830004
Установка болтов с упруго-пластическим натягом	88230001
	88230002
	88230003

Свинчивание винтов, гаек, болтов, затяжек гаек

88310001
88310021
88310022
88310023
88310024
88310025

НИАТ, 1976.

9. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. НИАТ, 1972.

10. ТР-980—74. Выполнение соединений с болтами из ВТ16 с посадкой PR_{2A}/A_3 в конструкциях из алюминиевых и магниевых сплавов. НИАТ, 1974.

11. ОСТ 1.00017—71. «Моменты затяжки болтов и винтов».

12. ТР-1163—75. Выполнение болт-заклепочных соединений с натягом. НИАТ, 1975.

13. РТМ-1503—75. Герметизация неразъемных соединений полисульфидным герметиком. НИАТ, 1976.

14. ТР 1.4.317—77. Развертывание отверстий ручными пневматическими машинами РПРМ-12М1 в агрегатно-сборочном производстве. НИАТ, 1979.

15. ТР 1.4.318—77. Протягивание с принудительным вращением инструмента точных отверстий в однородных и смешанных пакетах из алюминиевых, титановых сплавов и высокопрочных сталей в условиях агрегатно-сборочного производства. НИАТ, 1979.

Глава 4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Клеевым соединениям присущи особенности, отличающие их от известных видов соединений: заклепочных, сварных и паяных. Эти особенности вытекают из органической природы компонентов клеевых композиций и обуславливаются специфической швов.

Современные клеи на основе термореактивных полимеров (главным образом эпоксидных) в сочетании с рационально спроектированными узлами и агрегатами и созданными в последние годы новыми методами и средствами производства позволяют обеспечить высокую эффективность в эксплуатации клеевых конструкций. При решении вопроса о применении клеевых соединений принимают во внимание их преимущества и недостатки. Предпочтение клеевым соединениям следует отдавать тогда, когда они имеют четко выраженные преимущества по решающим показателям работы конкретного изделия.

Среди преимуществ клеевых соединений по сравнению с заклепочными могут быть особо отмечены следующие:

— возможность соединения разнородных материалов;

— равномерное распределение напряжений по всей склеиваемой поверхности и, как следствие, снижение концентрации напряжений и повышение выносливости;

— более медленное развитие усталостных трещин;

— возможность соединения обшивок с заполнителями (сотовым, пенопластовым и др.) и с дублерами;

— снижение массы конструкции и др.

Клеевые конструкции проектируют специально с учетом получения преимуществ, которые они могут дать. Недопустимо без коренной переработки при-

способливать клепаные, сварные и паяные конструкции под клеевые.

Обычно к клеевым соединениям предъявляют одно из следующих требований:

— длительность работы при температуре от -60 до $+80^\circ\text{C}$ в течение 60 тыс. ч;

— длительность работы при температуре от -60 до $+130\div 200^\circ\text{C}$ в течение 30 тыс. ч (из них при температуре $130\text{—}200^\circ\text{C}$ 20 тыс. ч);

— длительность работы при температуре от -60 до $+300^\circ\text{C}$ в течение 20 тыс. ч (из них при температуре 300°C до 1500 ч);

— кратковременность работы при температуре 500°C и выше в течение 30 с.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В летательных аппаратах применяются многие виды клеевых соединений, которые выполняются различными способами.

При изображении на чертежах швов клеевых соединений следует руководствоваться условными обозначениями, приведенными в табл. XIV.4.1. Необходимо также пользоваться сокращенными обозначениями, показанными в табл. XIV.4.2, так как их полное наименование загромождает чертеж.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ (по данным ВИАМа)

Выбор марок клеев для склеивания стрингеров, слоистых и сотовых конструкций, а также для выполнения клееклепанных соединений определяется предъявляемыми к ним техническими требованиями.

Таблица XIV.4.1


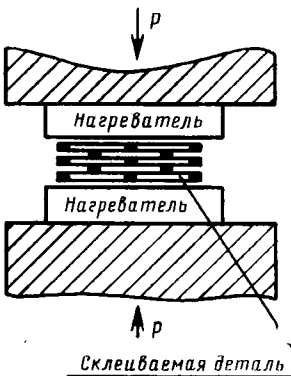
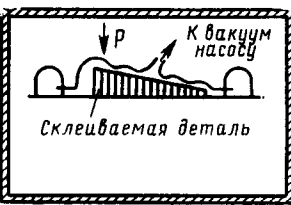

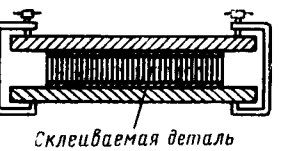
Вид соединения	Изображение клеевых швов на чертежах		Область применения
	вид сверху	в разрезе	
Клеевое стрингерное			Панели
Клеевое внахлестку			Соединение листов в панелях, узлах и др.
Клеевое встык с одной или двумя накладками			Детали каркаса и др.
Клеевое с торцами сотовых заполнителей			Агрегаты оперения, хвостовые отсеки лопастей, полы и стенки фюзеляжей и др.
Клеевое с боковыми гранями сотовых заполнителей			То же
Клеевое между сотовыми заполнителями			Панели, перегородки и др.
Клеевое слоистое			Обшивки агрегатов, стенки нервюр и шпангоутов, трубы и др.

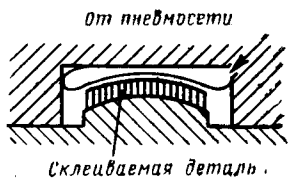

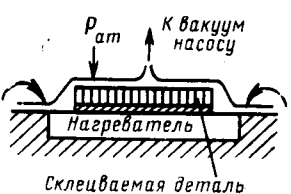
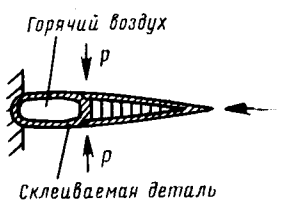
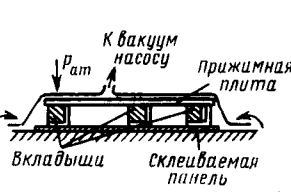
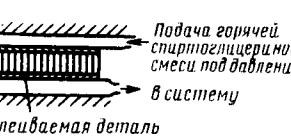
Продолжение табл. XIV.4.1

Вид соединения	Изображение клеевых швов на чертежах		Область применения
	вид сверху	в разрезе	
Клеевое со сплошным заполнителем			Полы, трапы
Клее-клепаное стрингерное			Панели
Клее-клепаное внахлестку			Продольные и поперечные стыки панелей фюзеляжа и др.
Клее-клепаное внахлестку с элементами жесткости			Продольные стыки панелей фюзеляжа и др.
Клее-клепаное встык с одной или двумя накладками			Герметичные панели топливных отсеков, воздухозаборников и др.
Клее-клепаное стрингерное с накладкой			Заделка кромок панелей и др.
Клее-клепаное гофровое			Носилки крыла и центроплана, диффузоры и другие узлы, имеющие каналы, по которым циркулируют воздух или жидкость

Таблица XIV.4.2

Продолжение табл. XIV.4.2

Способ склеивания	Схема процесса	Условные обозначения
В автоклавах		СА
Под прессом		СПр
В электрических воздушных печах под вакуумом		СПВ
В электрических воздушных печах под механическим давлением		СПМ
Под механическим давлением при нормальной температуре		СМ

Способ склеивания	Схема процесса	Условные обозначения
При нормальной температуре под пневматическим давлением		СП
В электрических воздушных печах под пневматическим давлением		СПП
На вакуумных столах с электрическим и паровым обогревом		СВС
В стапелях с обогревом электричеством, горячим воздухом или паром под механическим или пневматическим давлением		СС
Под вакуумом при нормальной температуре		СВ
На специальных гидравлических установках с обогревом		СГ

Для склеивания стрингерных соединений, работающих при температуре от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$ рекомендуется клей на эпоксидной основе марки ВК-40.

Слоистые панели, работающие при температуре от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$, склеивают фенольно-каучуковым клеем ВК-25 (ВК-25А) или эпоксидным ВК-40.

Клееклепаные соединения, работающие при температуре от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$, выполняют на эпоксидном клее ВК-27 или на комбинации клеев: фенольно-каучуковым (ВК-25) + эпоксидным (ВК-9) (ВК-25+ВК-9 нагревают до $+125^{\circ}\text{C}$ длительное время).

Склеивание пакетов фольги с последующим изготовлением способом растяжения сотовых заполнителей для конструкций, работающих при температуре от -60 до $+200^{\circ}\text{C}$, рекомендуется производить фенольно-каучуковыми клеями ВК-25, ВК-25А*, ВК-3А*, ВК-3. Клеи ВК-25 и ВК-25А обеспечивают в 1,5 раза более высокую прочность склеивания пакетов сотовых заполнителей при испытании на расслаивание по сравнению с клеями ВК-3 и ВК-3А в случае применения фольги без специальной подготовки поверхности.

Для склеивания сотовых заполнителей без перфорации, а также заполнителей из фольги АМг-2Н толщиной 0,05 мм и других высокопрочных алюминиевых сплавов применять клеи ВК-25 (ВК-25А). В перспективных конструкциях использовать для склеивания сотового заполнителя только клей ВК-25А.

В целях повышения прочности склеивания сотового заполнителя и его коррозионной стойкости в эксплуатации при изготовлении хвостовых отсеков лопастей вертолетов применяют оксидирование фольги.

Состав оксидирующего раствора, г/л:

хромовый ангидрид Cr_2O_3	3—3,5
фторсиликат натрия Na_2SiF_6	3—3,5

Однако оксидация фольги приводит к ее охрупчиванию и поэтому применяется только для мягких сплавов типа А5Т.

Клеи для склеивания обшивок с сотовым заполнителем и соединений их с элементами каркаса

А. Клеи для сотовых конструкций, работающих в интервале температур от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$.

Выбор марки клея для различных видов соединений определяется комплексом предъявляемых к нему требований (по прочности, температуре отверждения и др.).

Для соединения обшивок с неперфорированным сотовым заполнителем рекомендуются пленочные модифицированные эпоксидные клеи с пониженным содержанием летучих продуктов — ВК-31, ВК-41.

Для соединения обшивок с перфорированным сотовым заполнителем предлагаются жидкие и пленочные фенольно-каучуковые клеи ВК-32-200, ВК-3 и ВК-3А.

Для соединения элементов каркаса с сотовым заполнителем (перфорированным и неперфорированным) целесообразны модифицированные эпоксидные вспенивающиеся клеи ВКВ-9 (пастообразный, холодного отверждения), ВКВ-2 (пленочный, с температурой отверждения $175 \pm 5^{\circ}\text{C}$) и ВКВ-3 (пленочный, с температурой отверждения $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$ в течение 4 ч или $175 \pm 5^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч).

Для соединения элементов каркаса с перфорированным заполнителем может быть также использована комбинация жидких и пленочных клеев ВК-3, ВК-3А и ВК-32-200.

Для соединения обшивок с элементами каркаса рекомендуются пленочные клеи ВК-3, ВК-3А, ВК-32-200, ВК-31 и ВК-41.

Б. Клеи для сотовых конструкций, работающих при температурах от -60 до $+150 \div 200^{\circ}\text{C}$

Для соединения обшивок с перфорированным сотовым заполнителем и элементами каркаса в конструкциях, работающих при температурах до 200°C , рекомендуется клей ВК-32-200.

Для соединения обшивок с неперфорированным сотовым заполнителем и элементами каркаса в конструкциях, работающих при температурах до 150°C , возможно применение пленочного модифицированного эпоксидного клея ВК-36.

Для соединения сотового заполнителя (перфорированного и неперфорированного) с элементами каркаса предлагается эпоксидный вспенивающийся пастообразный клей ВКВ-1 или ВКВ-3 (пленочный).

Для соединения перфорированного сотового заполнителя с элементами каркаса в конструкциях, работающих до 200°C , может быть также использована комбинация жидкого и пленочного клея ВК-32-200.

Физико-механические и технологические свойства клеев (по данным ЦАГИ)

Основные физико-механические свойства клеев ВК-3, ВК-3А, ВК-32-200, ВК-25, ВК-25А, ВК-31, ВК-36 и ВК-41 даны в табл. XIV.4.3.

Дополнительные данные о свойствах клеев ВК-3 и ВК-32-200 представлены в справочнике «Авиационные материалы», т. 9, ВИАМ, 1973.

Данные табл. XIV.4.3 являются справочными, полученными на стандартных лабораторных образцах из сплава Д19АТ, анодированного в серной кислоте для клеев ВК-3, ВК-3А и ВК-32-200 и в хромовой кислоте для клеев ВК-25, ВК-25А, ВК-31, ВК-36 и ВК-41.

* Клеи ВК-25А и ВК-3А аналогичны по своим свойствам клеям ВК-25 и ВК-3, но отличаются отсутствием в них импортного сырья — натурального каучука.

Таблица XIV.4.3

Температура испытаний, °C	Предел прочности				
	ВК-3, ВК-3А	ВК-32-200	ВК-25 (ВК-25А)	ВК-31	ВК-36
σ_b , кгс/см ²					
—60	300	230	350	320	350
20	180	140	250	350	370
80	120	—	150	280	—
200	50	45	50	—	275*
$\sigma_{от}$, кгс/см ²					
—60	25	20	40	30	45
20	55	35	70	70	55
80	35	18	50	60	—
200	15	—	25	—	60*
$\sigma_{от}$, кгс/см ² (соты+обшивка)					
—60	—	50	—	60	—
20	30	40	—	75	70
80	17	—	—	60	70
200	—	18	—	—	35*

* Испытания при 150 °C.

При испытаниях использовался сотовый наполнитель с ячейкой 2,5 мм из фольги АМг-2Н толщиной 0,03 мм — для клеев ВК-3, ВК-3А, ВК-32-200 и 0,05 мм — для клеев ВК-31, ВК-36 и ВК-41.

Сравнительные привесы от клеев ВК-32-200, ВК-31 и ВК-41 при склеивании конструкций составляют следующую величину:

ВК-32-200	700—800
ВК-41	220—280
ВК-31	260—320

Технологические режимы склеивания металлических конструкций клеями различных марок, в том числе с сотовым наполнителем, изложены в следующей технической документации ВИАМа: для клея ВК-32-200 и ВК-3 — в ТУ 6-17-663—75; ВК-36 — в ТР 1.2.035—77; ВК-31 — в ТР-24-1221; ВК-41 — в ТР 1.2.084—78; ВК-25 — в ТР-24-1168; ВКВ-1 — в ТР-24-1228; ВКВ-2 — в ТР-24-1061; ВКВ-3 — в ТР 1.2.072—78; ВКВ-9 — в ТР-24-1063.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Клеевые соединения в конструкциях из алюминиевых сплавов применять в следующих случаях:

— когда другие виды соединений неприемлемы (например, соединение сотового наполнителя с обшивками и деталями каркаса, соединение обшивок с дублерами и др.);

— когда в сравнении с клепкой, сваркой или пайкой достигается эффективность по одному или нескольким главным для данного конкретного изделия параметрам (масса, прочность, гладкость

поверхности, надежность, ресурс, звукопоглощение, теплозащита и др.);

— когда при отсутствии эксплуатационных преимуществ по сравнению с другими видами соединений в условиях серийного производства обеспечивается уменьшение трудоемкости и цикла изготовления, сокращение производственных площадей и потребностей в рабочей силе, снижение стоимости изделия.

Клеевые конструкции подлежат специальному проектированию с учетом их преимуществ и недостатков. Недопустимо приспособлять без переработки клепаные, сварные или паяные конструкции под клеевые.

При проектировании следует учитывать, что клеевые соединения удовлетворительно работают при сдвиге и равномерном отрыве и плохо при неравномерном отрыве.

Массу конструкции нужно распределять равномерно, чтобы избежать коробления при охлаждении после термостатирования.

Клеевые узлы не должны иметь деталей, выполненных из материалов, для которых нагрев до температуры отверждения клея неприемлем.

В клеевых соединениях между поверхностями, прижатыми с оптимальным давлением, не допускаются зазоры более 0,1—0,2 мм. Это требование вызвано растекаемостью клеев некоторых марок, уменьшением прочности соединений при увеличении толщины и неравномерности клеевого слоя.

Клеевые узлы должны иметь по возможности упрощенную конструктивную схему с наименьшим числом входящих деталей.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КЛЕЕНЫХ ПАНЕЛЕЙ СТРИНГЕРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Панели следует проектировать плоскими или одинарной кривизны в направлении, перпендикулярном оси стрингеров. Кривизна вдоль стрингеров нежелательна.

Стрингеры надо располагать параллельно образующим или по процентным линиям. Такое положение стрингеров позволит изготовлять панели наиболее простым способом — на плоском вакуумном столе с последующей гибкой по требуемому контуру.

Расположение стрингеров на плоских панелях может быть любым. В качестве стрингеров для панелей рекомендуется применять профили симметричного сечения. Это вызвано тем, что при потере устойчивости обшивки возникают нагрузки, вызывающие отдр (неравномерный отрыв) ее от стрингеров.

Высокая жесткость несимметричных профилей у стенок в сочетании с тонкой обшивкой создает неблагоприятные условия для работы соединений при неравномерном отрыве. Тем не менее в некоторых зарубежных клеевых конструкциях применяются несимметричные профили (рис. XIV.4.1.).

При расчете типоразмеров профилей и расстояния между ними необходимо учитывать действующие нагрузки. Предпочтение отдают профилям,

имеющим склеиваемые полки большей ширины, полученным прессованием, а не гибкой, выполненным без малки в плоскости склеивания.

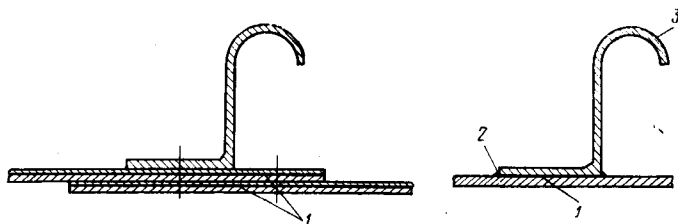


Рис. XIV.4.1. Несимметричный профиль стрингера:
1 — клей; 2 — герметик; 3 — стрингер.

Длину панелей вдоль стрингеров устанавливают конструктивно и с учетом имеющегося оборудования. Общие габариты панелей должны позволять в случае необходимости применение прессовой клепки, вызывающей значительно меньшее растрескивание клеевых прослоек по сравнению с ударной клепкой.

Высокое качество прилегания может быть обеспечено механической обработкой склеиваемых поверхностей профилей. Это особенно целесообразно при растекающихся клеевых композициях, требующих большого давления в процессе отверждения. Подлежащие механической обработке профили должны иметь припуск по толщине полки в пределах 0,5—1 мм. Для защиты от коррозии механически обработанные поверхности элементов каркаса анодируют, покрывают грунтом и т. д.

В зависимости от условий эксплуатации и свойств клеевых композиций подготовку поверхностей деталей панелей под склеивание производят анодированием в хромовой кислоте.

На выбор метода склеивания влияют конструктивное выполнение и габариты панелей, свойства примененных марок клея, обшивок и стрингеров, наличие оборудования на предприятии.

На вакуумных столах, не устанавливаемых в автоклав или в печь, склеивают плоские панели под избыточным атмосферным давлением с нагревом или без него. Вакуумные столы создают с учетом габаритных размеров панелей. В электрических камерных печах склеивают плоские и криволинейные панели под избыточным атмосферным давлением, получаемым вакуумированием. Электрические камерные печи для склеивания конкретных конструкций изготовляют сами серийные предприятия. На прессах, имеющих обычно рабочие плиты ограниченных размеров, склеивают только плоские панели. В автоклавах склеивают плоские и криволинейные панели.

В склеенных панелях края стрингеров закрепляют заклепками, чтобы повысить сопротивление нагрузкам, вызывающим отдир. Компенсаторы, уголки, накладки и другие детали должны быть приклепаны к профилям до их склеивания с обшивками, чтобы не допустить образования трещин в отвержденных клеевых прослойках.

Панели со стрингерным набором не рекомендуются соединять с нервюрами, шпангоутами и другими элементами каркаса склеиванием, так как эти места конструкции могут подвергаться неравномерному отрыву. В качестве крепежных средств следует применять заклепки или болты.

Агрегаты собирают с базированием на каркас или по наружному контуру панелей. В первом случае точность агрегатов зависит от качества изготовления деталей каркаса, во втором все погрешности изготовления деталей идут внутрь конструкции.

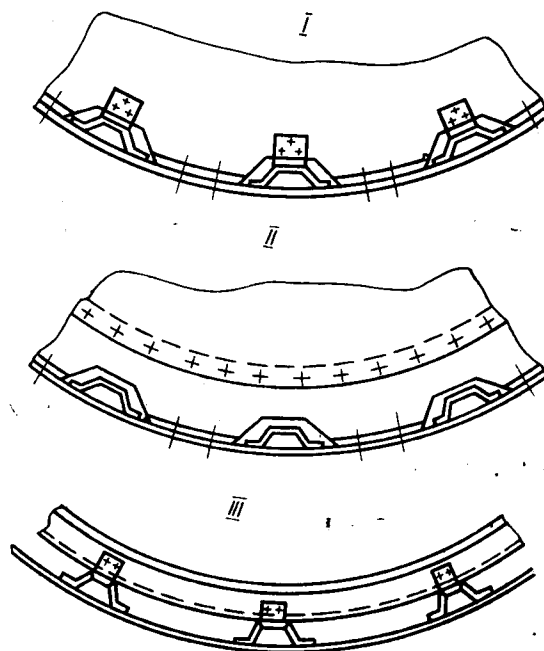


Рис. XIV.4.2. Конструктивные варианты соединения панелей с нервюрами и шпангоутами:
I — соединение панелей с нервюрами или шпангоутами между стрингерами и через уголки на стрингерах; II — соединение с базированием по наружному контуру; III — соединение склеенной в приспособлении панели со шпангоутами через уголки.

Конструктивные варианты соединения панелей с нервюрами, шпангоутами показаны на рис. XIV.4.2.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ СЛОИСТЫХ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И КЛЕЕКЛЕПАНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Слоистые конструкции выполняют в виде пакета, состоящего из двух или более склеенных между собой обшивок одной или различных толщин, изготовленных из однородных или неодинаковых по свойствам материалов. Например, обшивки, склеенные с дублерами, применяют для изготовления оконных панелей фюзеляжа в целях повышения их усталостной прочности, поскольку значительные по величине отверстия являются концентраторами высоких напряжений. Обшивки также подкрепляют дублерами в местах расположения вырезов под лючки и люки, створки, двери и др.

Повышения усталостной прочности достигают заменой химически фрезерованных обшивок клееными слоистыми с облегченными дублерами, имеющими соответствующее количество вырезов.

Практикуют приклеивание накладок к обшивкам для повышения прочности участков, воспринимающих сосредоточенные нагрузки. Накладки приклеивают также для получения многоступенчатых переходов по толщине обшивок.

Известна слоистая конструкция лонжерона лопасти вертолета, состоящая из большого числа формованных и склеенных между собой листов алюминиевой фольги.

Учитывая трудности обеспечения зазора между обшивками и дублерами, не превышающего 0,1—0,2 мм, панели слоистой клееной конструкции следует проектировать плоскими или одинарной кривизны и только в случае крайней необходимости — двойной кривизны.

Для повышения усталостной долговечности дублированных клееных панелей выполнять их увеличенной длины с минимальным числом стыков обшивок.

Вырезы в слоистых клееных панелях под окна, двери, люки окантовывать профилями, соединяемыми склеиванием, клепкой или клееклепкой.

Утолщение обшивок с помощью накладок рекомендуется создавать с внутренней стороны агрегата. Однако, чтобы не делать полсечек в профилях, накладки можно приклеивать с наружной стороны, но при обязательном соблюдении требований аэродинамики.

При разработке клеевых соединений обшивок необходимо учитывать, что увеличение нахлестки приводит к более равномерному распределению напряжений в шве и поэтому после достижения определенной длины не оказывает влияния на повышение несущей способности (рис. XIV.4.3). Несущую способность соединения повышают увеличением ширины нахлестки.

Снижение концентрации напряжений на краях вырезов утолщенных дублеров обеспечивают выполнением их со скоса (рис. XIV.4.4).

Ограничение распространения трещин в слоистых клееных панелях достигают приклеиванием к обшивкам в зонах между шпангоутами титановых стоперов (рис. XIV.4.5).

При использовании для приклеивания дублеров к обшивкам клеевых композиций (например, клея ВК-25), выделяющих в процессе полимеризации значительное количество летучих составляющих, предусматривать в дублерах отверстия и вырезы для их удаления.

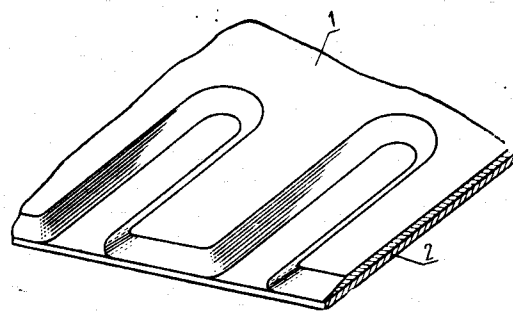


Рис. XIV.4.4. Скосы дублеров:

1 — дублер; 2 — обшивка

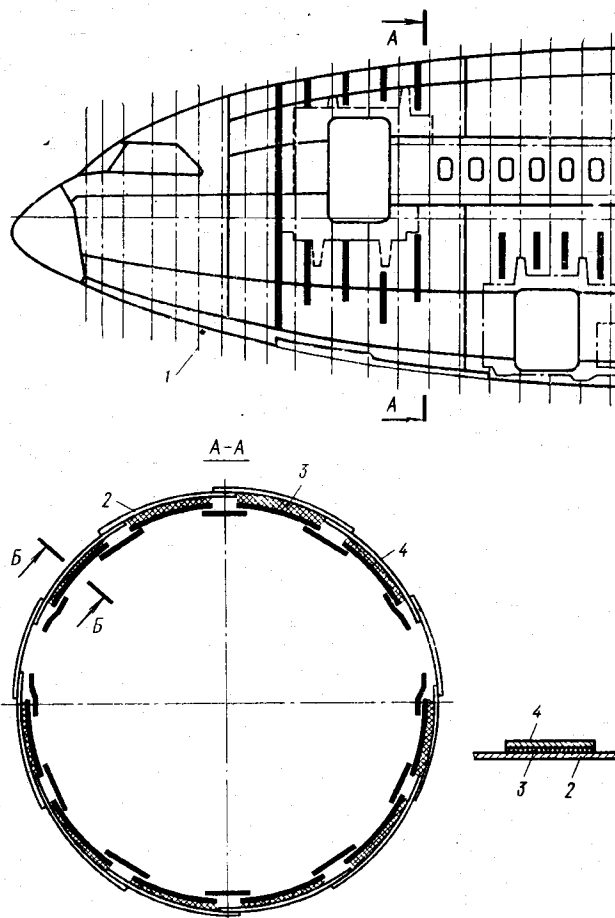


Рис. XIV.4.5. Применение стоперов в конструкции изделия:

1 — шпангоуты; 2 — обшивка; 3 — клей; 4 — стопер.

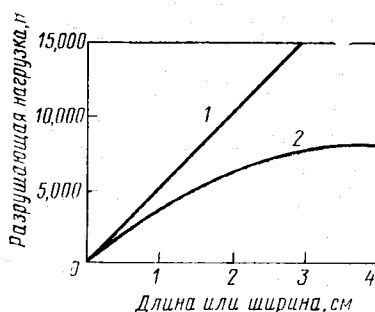


Рис. XIV.4.3. Зависимость несущей способности соединения от величины нахлестки:

1 — ширина (длина постоянна — 1 см); 2 — длина (ширина постоянна — 1 см).

Точность сопряжения обшивок с дублерами в слоистых панелях обеспечивают соответствующей увязкой заготовительной и сборочной оснастки. За основу увязки принимают одну программу к фрезерным станкам с ЧПУ, с помощью которой обрабатывают рабочие поверхности болванок к прессам для обтяжки обшивок, оправок для пресования деталей каркаса, ложементы сборочно-склеенных приспособлений, а также фрезеруют соотоповые наполнители.

Подготовку поверхностей под склеивание обшивок и дублеров, имеющих большие площади

сопряжения, производят обработкой по «пиклинг-процессу» или анодированием в хромовой кислоте.

Слоистые панели склеивают в автоклавах или на прессах по технологическим режимам, указанным в директивном технологическом процессе.

Склеивание гладкой наружной и гофрированной внутренней обшивки носков, обогреваемых горячим воздухом, пропускаемым через каналы, значительно улучшает герметичность и качество поверхности по сравнению с клепкой на внутришовном герметике.

Клей для склеивания носков выбирают в зависимости от рабочих температур противообледенительной системы.

Конструкция носков должна обеспечивать свободный доступ ко всем клеевым швам для создания требуемого давления и нагрева при склеивании.

Носки рекомендуются склеивать двумя способами: — внешнюю и внутреннюю (гофрированную) обшивку склеивают между собой, а затем к ним прикрепляют элементы каркаса (диафрагмы);

— внешнюю и внутреннюю обшивку склеивают между собой и одновременно с элементами каркаса (диафрагмами, стыковочными профилями); желательно, чтобы элементы каркаса имели разъем по хорде для создания равномерного давления на склеиваемые поверхности.

Соединение обшивки с диафрагмами выполняют клееклепаным, так как эти участки работают на неравномерный отрыв. Кромки клеевых швов закрепляют заклепками, чтобы исключить разрушение.

Качество склеивания носков повышают уменьшением числа элементов в пакете. Если количество летучих в клее превышает 2—3%, в зоне склеивания во внутренней обшивке предусматривают отверстия, которые служат для выхода летучих составляющих клея при отверждении.

Носки клепают на прессах. Ударную клепку пневматическими молотками допускают в исключительных случаях. При этом заклепки изготавливают из мягкого материала и как можно меньшего диаметра.

Типы клееклепанных швов, применяемых в конструкциях, показаны на рис. XIV.4.6.

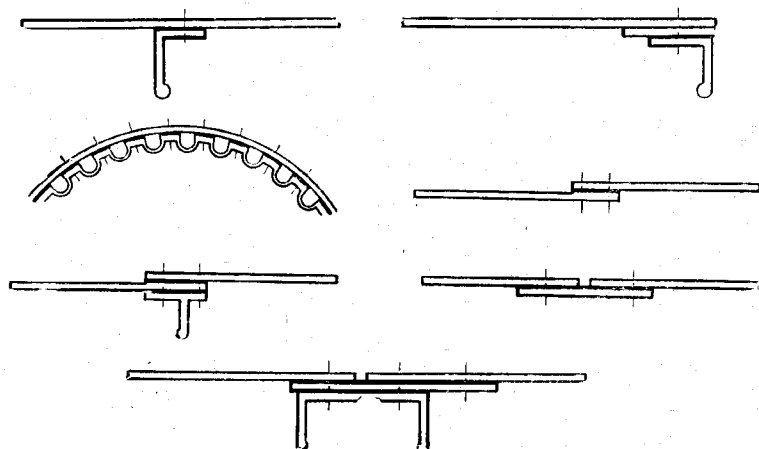


Рис. XIV.4.6. Типы клееклепанных швов.

В клееклепанных соединениях, как и в обычных заклепочных, применяют типоразмеры заклепок и отверстия для них по нормальям. Типоразмеры устанавливают в зависимости от действующих нагрузок, материала и толщины пакета с учетом требуемой гладкости поверхности. При выборе форм закладных головок заклепок принимают во внимание не только аэродинамику, но и метод выполнения соединения.

Если давление в процессе склеивания создают заклепками, то закладная головка должна быть плоско-выпуклой или плоской.

Указанные закладные головки имеют увеличенный диаметр по сравнению с заклепками типа ЗК, и поэтому передают давление на большую площадь пакета. В потайных соединениях в этой связи отдают предпочтение заклепкам с углом развала 120° (ЗУ-120), а не 90° (ЗУ-90).

Выбор формы закладных головок заклепок не связывают с технологией, когда клепку производят после склеивания. Однако заклепки с полукруглой головкой нельзя ставить на участках, подлежащих групповой клепке.

Для любых типов клееклепанных швов замыкающие головки заклепок следует выполнять плоскими.

В клееклепанных соединениях, где заклепки ставят в предварительно склеенный шов, высота потайных закладных головок может быть несколько больше толщины обшивки, составляющей монолитный пакет с элементами каркаса.

Геометрические параметры клееклепанных швов следует определять после выбора материала и толщины деталей, составляющих пакет, и типа соединения (встык, внахлестку и пр.).

Число рядов заклепок в швах и шаг между ними не лимитируются и устанавливаются в зависимости от компоновочных решений и требований прочности.

Тонкие обшивки ($\delta \leq 0,5$ мм) рекомендуются перед постановкой заклепок склеивать с каркасом. Когда это невозможно, передачу равномерного давления на клеевую прослойку по всей длине шва через тонкие обшивки осуществляют заклепками, расположенными с небольшим шагом ($t \leq 3d$). Однако большое число заклепок в шве невыгодно из-за увеличения массы и трудоемкости.

Если при расчете на прочность работу клеевой прослойки не учитывают, то число заклепок в шве должно быть таким же, как в обычном заклепочном соединении. В этом случае увеличение несущей способности за счет клеевой прослойки идет в запас прочности. При учете работы клеевой прослойки создаются возможности для уменьшения диаметра и числа заклепок. В каждом конкретном случае этот вопрос решается на основании результатов расчета и предварительных испытаний.

Прочность соединений при неравномерном отрыве повышается заделкой законцовок швов заклепками, расположенными от края на расстоянии не более $2d$.

Склеивание на прессе, в печи, автоклаве или в другом устройстве с последующим сверлением, зенкованием отверстий и клепкой рекомендуется применять тогда, когда конструкция узла допу-

скает установку его на это оборудование. Такой метод склеивания эффективен для клееклепанных соединений, выполненных на клее, отверждающемся при высокой температуре и давлении, а также при использовании тонких обшивок и заклепок, расположенных с большим шагом друга от друга.

Швы агрегатов больших размеров (например, отсеков фюзеляжа) не рекомендуется склеивать в печи или в автоклаве, так как вследствие неравномерного распределения массы может возникнуть коробление.

В этом случае для склеивания целесообразнее применять переносные универсальные приспособления (после отверждения клеевой прослойки производится образование отверстий и гнезд, вставка заклепок и клепка). Для установки переносных универсальных приспособлений необходимо иметь в шве отверстия, расположенные так же, как штыри приспособления. В качестве установочных отверстий используют отверстия под заклепки.

Переносные универсальные приспособления для местного склеивания применяют и тогда, когда в конструкцию агрегатов входят детали, изготовленные из материалов, не допускающих нагрева до температуры отверждения клея.

Метод склеивания с созданием давления заклепками требует применения клеев, допускающих в процессе отверждения контактное или весьма низкое давление ($P \leq 1$ кгс/см²). При этом с увеличением толщины элементов пакета и уменьшением шага между заклепками качество склеивания повышается. Метод характеризуется простотой и позволяет обходиться без дорогостоящего оборудования. Однако соединения, выполненные этим методом, по трудоемкости несколько уступают обычным заклепочным.

Клееклепанные соединения проектируют с учетом применения имеющихся средств механизации и автоматизации.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ СОТОВЫХ КЛЕЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Сотовые клееные конструкции из алюминиевых сплавов отличаются следующими преимуществами по сравнению с клепаными: имеют большие удельную статическую прочность (на 20—40%) и устойчивость при продольном сжатии (в 2—4 раза), меньшее количество деталей (в 3—4 раза), более гладкую поверхность, более низкую трудоемкость проектирования (в 4—5 раз) и др.

Опыт отечественной и зарубежной промышленности показывает, что наиболее эффективными областями применения сотовых клееных конструкций из алюминиевых сплавов в изделиях авиационной техники являются агрегаты оперения (рули направления и высоты, триммеры, стабилизаторы), агрегаты механизации крыла (панели хвостовой части, предкрылки, закрылки, дефлекторы, тормозные щитки, элероны, спойлеры, интерцепторы), агрегаты фюзеляжа (люки и лючки, панели пола), агрегаты установки двигателя (капоты,

панели пилонов, воздухозаборные каналы ЗПК), агрегаты несущих и хвостовых лопастей вертолетов (хвостовые отсеки) и др.

Выбор формы и размеров ячеек, материала фольги и высоты сотового заполнителя

В конструкциях следует применять типоразмеры сотовых заполнителей в соответствии с действующим отраслевым стандартом (ОСТ 1.00728—75, ОСТ 1.00729—75).

Сотовые заполнители с шестигранной формой ячеек из сплавов А5Т и АМг-2Н наиболее технологичны и широко опробованы в условиях эксплуатации. Такие заполнители используют в конструкциях с прямолинейными и криволинейными поверхностями. Криволинейную поверхность получают фрезерованием либо выкладкой деформированных блоков сотовых заполнителей по формованной обшивке.

При выборе размера ячеек, материала и толщины фольги, а также высоты сотового заполнителя необходимо учитывать требуемую удельную прочность, теплостойкость, конструктивную компоновку и технологические возможности.

Допустимые значения напряжений сотового заполнителя при поперечном сжатии, отрыве и сдвиге даны в табл. XIV.4.4.

Таблица XIV.4.4

Марка фольги	a, мм	$\delta_{ф}$, мм	Допустимые значения напряжений, дин/см ²		
			на отрыв $\sigma_{отр}$	на сдвиг	
				τ_{xz}	τ_{yz}
АМг-2Н	2	0,03	60	19	11
		0,04	83	31	18
		0,05	102	41	23
АМг-2Н	2,5	0,03	50	15	9
		0,04	66	22	12
		0,05	83	31	18
АМг-2Н	3	0,03	42	12	7
АМг-2Н А5Т А5Т АМг-2Н	5	0,03	25	4	3
		0,04	15	3	2
			19	5	3
			31	8	5
АМг-2Н А5Т	6	0,03	18	4	3
			11	3	2

Сотовые заполнители для нетеплостойких конструкций выполнять из фольги А5Т и АМг-2Н, а для теплостойких — из фольги АМг-2Н.

В качестве основного метода изготовления сотовых заполнителей принято растяжение, обеспечивающее получение необходимой прочности соединений и наименее трудоемкое.

При испытании по методике, изложенной в ОСТ 1.90153—74, клеевых соединений сотовых пакетов, выполненных на клее ВК-25 и изготовленных на автоматизированных линиях АСП-1000, АСП-1200, АСП-250М (450), прочность на расслаивание должна находиться в пределах $\sigma_p = 0,7 \text{ кгс/см.}$

Расположение дренажных отверстий в сотовых заполнителях

Сотовые заполнители выполняют с дренажными отверстиями и без них. Дренажные отверстия способствуют прониканию влаги во внутренние полости сотовых агрегатов, поэтому их предусматривают только тогда, когда обшивки приклеивают жидкими клеями и клеевыми пленками, выделяющими большое количество летучих веществ при отверждении.

При установлении числа, места расположения дренажных отверстий учитывают необходимость сообщения между ячейками и возможность закрытия отдельных отверстий клеем в процессе склеивания конструкции. Обычно в различных плоскостях ячейки располагают не менее трех-четырех отверстий. Отверстия пробивают на несклеиваемых гранях заполнителя.*

Допустимые габаритные размеры сотовых заполнителей

Сотовые заполнители желательно проектировать без стыков. Этим достигают уменьшение массы,

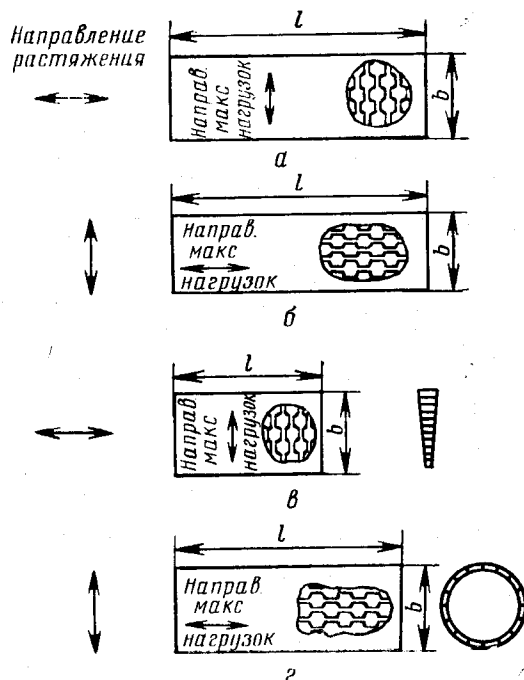


Рис. XIV.4.7. Рекомендуемое расположение сотовых заполнителей в конструкциях узлов: а, б — в панелях; в — в хвостовых отсеках узлов; г — в агрегатах цилиндрической или конической формы.

улучшение качества поверхности агрегатов и снижение трудоемкости.

В конструкциях заполнители преимущественно располагают так, чтобы наибольшие действующие нагрузки совпадали с направлением лент фольги.

Рекомендуемое расположение заполнителей в отдельных типовых узлах показано на рис. XIV.4.7.

Размеры сотовых заполнителей, обеспечиваемые существующим специализированным оборудованием, приведены в табл. XIV.4.5. Если размеры конкретного узла превышают указанные в таблице значения, допускается соединение блоков между собой способами, описанными ниже.

Таблица XIV.4.5

Оборудование	Наибольшие размеры сотового заполнителя, мм			Эскиз
	длина l при 300 листах в пакете	ширина b	высота h*	
Автомат АСП-250М	1290 (a=5) 1548 (a=6)	335	250	
Автомат АСП-1200М	1548 (a=6)	900	460	
Автомат АСП-1000	650 (a=2,5) 1040 (a=4) 1290 (a=5) 1548 (a=6)	740	400	

* Наибольшую высоту сотового заполнителя, получаемую растяжением, устанавливают в зависимости от размера ячейки, материала и толщины фольги.

Способы соединения блоков сотовых заполнителей между собой и с элементами каркаса

Блоки сотовых заполнителей соединяют между собой для увеличения размеров сотовых заполнителей; для усиления отдельных участков конструкций; для изменения направления лент фольги в смежных зонах; чтобы не фрезеровать уступы в сотовом заполнителе (рис. XIV.4.8).

Соединительные швы в сотовых заполнителях располагают в любом направлении относительно лент фольги.

Растянутые сотовые заполнители соединять между собой согласно ОСТ 1.00728—75, ОСТ 1.00729—75 стыковкой усиков или граней ячеек или через прикатанные боковые поверхности.

* Допускается попадание отдельных отверстий в склеиваемые грани при условии наличия дренажных отверстий в этой ячейке на несклеиваемых гранях.

Сотовые заполнители с элементами каркаса соединять способами, показанными на рис. XIV.4.9.

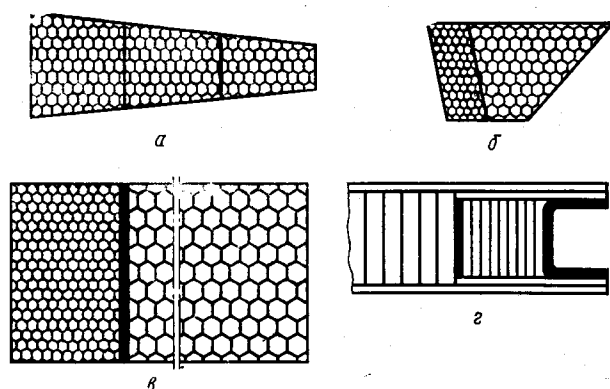


Рис. XIV.4.8. Соединение блоков сотовых заполнителей между собой:

а — для увеличения размеров сотовых заполнителей; б — для изменения направления лент фольги в смежных зонах; в — для усиления отдельных участков конструкции; г — чтобы не фрезеровать уступы в сотовом заполнителе.

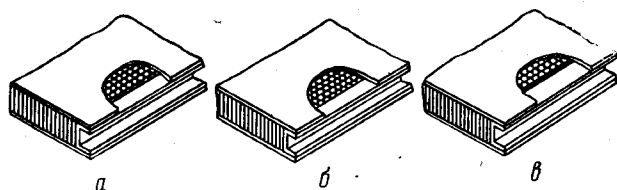


Рис. XIV.4.9. Способы соединения сотовых заполнителей с элементами каркаса:

а — прикатанными боковыми гранями сотовых заполнителей; б — неприкатанными боковыми гранями сотовых заполнителей; в — заливкой клеевой композиции.

Заделка кромок узлов

Кромки узлов заделывают для обеспечения необходимой прочности, герметичности и крепления к основной конструкции. Выбор способа заделки увязывают с конструктивной схемой стыковки узлов, требуемой прочностью, возможностью получения минимальной массы и технологичностью.

В изделиях наиболее распространены заделки вкладышами,]- и Z-образными профилями, уголовым профилем со стеклотканью, пропитанной связующим, загибом внутренней или наружной обшивок, перегибом обшивок.

Материалом для вкладышей служат алюминиевые и магниевые сплавы, стеклотекстолит и др.

Примечание. Изготовление вкладышей из материалов, имеющих отличные от основных элементов коэффициенты линейного расширения, приводит к появлению после склеивания остаточных деформаций.

Вкладыши вследствие их сплошности дают значительный прирост массы, и поэтому область их применения ограничивают тонкостенными сотовыми обшивками и панелями небольшой высоты. Такой способ заделки технологичен, так как позволяет подавать на сборку вкладыши после механи-

ческой обработки с заданными отклонениями по высоте.

Обычно обшивки соединяют с вкладышами или другими профилями помимо склеивания заклепками, шаг между которыми устанавливают большим, чем в обычных заклепочных соединениях.

Профили]-образного сечения располагают с внутренней или наружной стороны панели (рис. XIV.4.10). Применение]-образных профилей исключает необходимость фрезерования в сотовых заполнителях уступов. Однако величина ступенек между полками профилей и торцами сотовых заполнителей должна лежать в заданных пределах (0,1—0,2 мм).

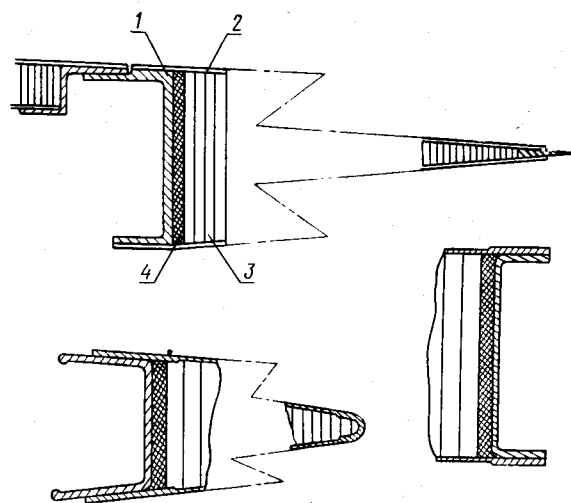


Рис. XIV.4.10. Расположение профилей]-образного сечения:

1 — профиль]-образного сечения (лонжерон); 2 — обшивка; 3 — сотовый заполнитель; 4 — вспенивающая композиция.

Z-образные профили лучше выполнять гнутыми и тонкостенными. Стенки таких профилей при склеивании легко изгибаются под давлением, компенсируя несогласованность высот панели и профиля.

Достаточно технологичной является заделка торцов панелей уголовым профилем со стеклотканью, пропитанной связующим. Однако в условиях эксплуатации такого вида заделки не всегда обеспечивают герметичность участков конструкции по кромкам.

Законцовочные профили, например, рулей, элеронов создают высокую жесткость кромкам узлов. Их изготавливают из магниевых сплавов, стеклотекстолита и других материалов.

Профили соединяют с обшивками клеем и заклепками. Массу профилей уменьшают отверстиями облегчения, располагаемыми между заклепками. Клепку по законцовочному профилю ведут на стационарных или переносных прессах.

В хвостовых отсеках ряда агрегатов кромки заделывают перегибом обшивок, между которыми устанавливают вкладыш.

Шомпольные соединения применяют в узлах типа крышек люков, створок, которые периодически открываются при эксплуатации.

Выполнение участков узлов и агрегатов, воспринимающих сосредоточенные нагрузки

Сосредоточенные нагрузки, прикладываемые к отдельным участкам сотовых конструкций, передаются через профили, вкладыши и другие элементы, вклеиваемые между обшивками и сотовым наполнителем.

При отсутствии внутренних жестких элементов в сотовых конструкциях в процессе образования замыкающих головок заклепок или затяжки болтов могут наблюдаться смятие сотового наполнителя, появление на поверхности листов лунок и потеря устойчивости стержней заклепок.

Некоторые конструктивные решения участков, воспринимающих сосредоточенные нагрузки, показаны на рис. XIV.4.11.

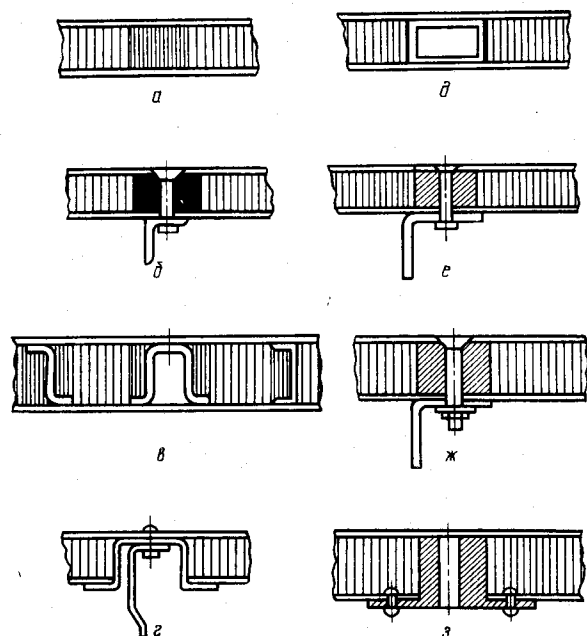


Рис. XIV.4.11. Выполнение участков конструкций, воспринимающих сосредоточенные нагрузки:

а — уплотненный сотовый наполнитель; б — заливка специальной композицией; в — вклеенные в сотовый наполнитель профили; г — профили с полками, вынесенными наружу панели; д — профиль прямоугольного сечения, вклеенный в сотовый наполнитель; е, ж — вклеенные в сотовый наполнитель втулки; з — втулки с фланцами, приклепанными к обшивке.

Соединение обшивок между собой, с сотовым наполнителем и элементами каркаса

В сотовых конструкциях не рекомендуется заменять обшивки, составленные из отдельных частей. При крайней необходимости обшивки можно соединять между собой одним из способов, показанных на рис. XIV.4.12.

В сотовых конструкциях наиболее ответственным является соединение обшивок с сотовым наполнителем и элементами каркаса. Прочность соединений должна быть такой, чтобы обеспечивать при эксплуатационных нагрузках совместную монолит-

ную работу указанных деталей. Сотовые конструкции выполняют герметичными и поэтому соединения должны удовлетворять соответствующим требованиям. Конструктивная схема соединения обшивок с сотовым наполнителем и элементами каркаса показана на рис. XIV.4.13.

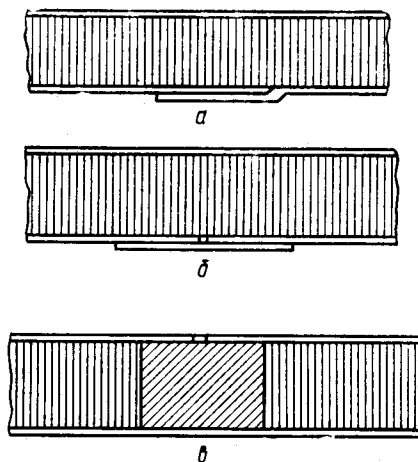


Рис. XIV.4.12. Соединение обшивок между собой на сотовом наполнителе: а — внахлестку; б — встык с накладкой; в — через вкладыш.

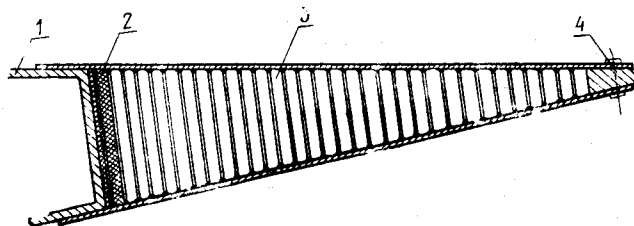


Рис. XIV.4.13. Конструктивная схема соединения обшивок с сотовым наполнителем и элементами каркаса:

1 — каркас; 2 — вспенивающаяся композиция; 3 — сотовый наполнитель; 4 — законцовка.

Повышение прочности соединения обшивок с сотовым наполнителем получают при уменьшении размера ячеек. Чем меньше размер ячеек, тем больше площадь склеивания. Однако с уменьшением размера ячеек увеличивается масса наполнителя. Уменьшение размера ячеек компенсируют уменьшением толщины и повышением предела прочности материала фольги.

Обшивки приклеивают к сотовому наполнителю и элементам каркаса одновременно. Участки обшивок, склеиваемые с лонжеронами и нервюрами, выполняют обычно большей толщины. Местное увеличение толщины получают травлением обшивок либо приклеиванием к ним специальных накладок, лент. При невысоких аэродинамических требованиях к качеству обтекаемых поверхностей накладки и ленты располагают с наружной стороны агрегата (рис. XIV.4.14). Это делают для того, чтобы не фрезеровать в сотовом наполнителе уступы.

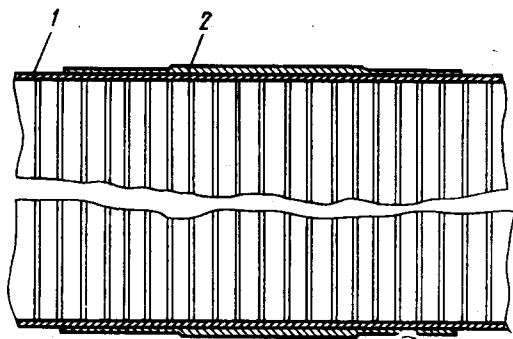


Рис. XIV.4.14. Установка усиливающих накладок на обшивку:

1 — обшивка; 2 — накладка.

Кроме склеивания, обшивки крепят к каркасу клееклепаным соединением. Сначала обшивки приклеивают к каркасу одновременно с сотовым заполнителем, а затем сверлят и зенкуют отверстия, вставляют заклепки и клепают. Клепку производят на прессе, чтобы избежать образования микротрещин в клеевой прослойке.

Соединение сотовых панелей между собой и с элементами каркаса

Сотовые панели соединяют между собой через элементы каркаса

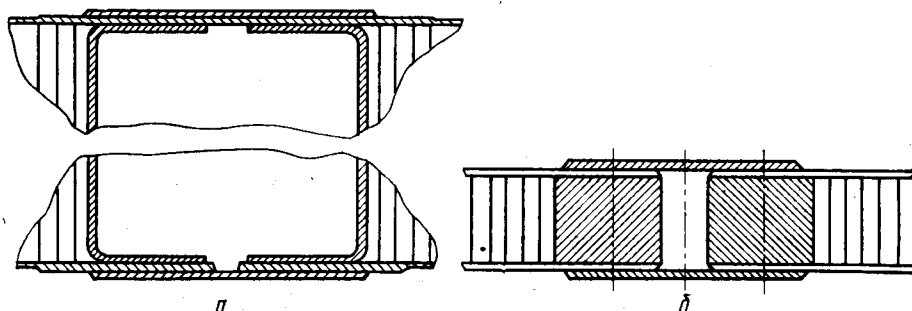


Рис. XIV.4.15. Способы соединения сотовых конструкций между собой:

а — соединение клиновидных агрегатов встык с накладкой; б — соединение панелей через вкладыш.

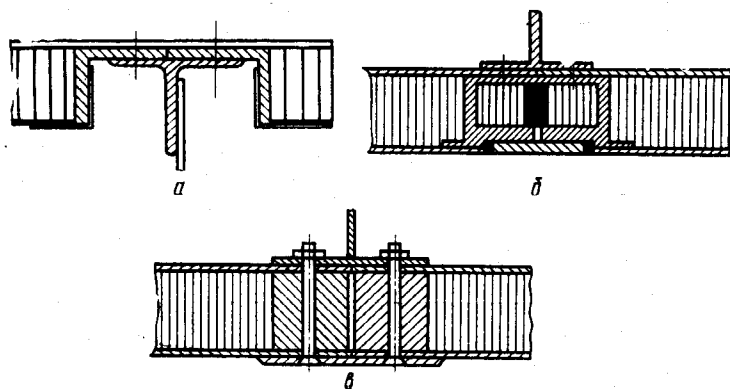


Рис. XIV.4.16. Способы соединения сотовых панелей между собой через элементы каркаса:

а — с помощью профиля; б — с помощью специальных профилей; в — с помощью накладки и профиля.

(шпангоуты или нервюры) или без них. Непосредственно между собой панели соединяют в целях наращивания по длине или ширине, а также в тех случаях, когда это вызывается требованиями конструкций.

При проектировании стыков стремятся получить высокий коэффициент прочности шва, гладкие переходы по наружной поверхности и наименьшие затраты при изготовлении.

Панели соединяют таким образом, чтобы одна сторона стыка, а именно наружная, была лишена накладок или других деталей, образующих выступы.

Применяемые в изделиях способы соединения сотовых панелей между собой показаны на рис. XIV.4.15, а соединения сотовых панелей между собой через элементы каркаса — на рис. XIV.4.16.

ЛИТЕРАТУРА

- Берсудский В. Е., Крысин В. Н., Лесных С. И. Технология изготовления сотовых авиационных конструкций. М., «Машиностроение», 1975.
- Кардашов Д. А. Конструкционные клеи. М., «Химия», 1980.
- Крысин В. Н. Слоистые клееные конструкции в самолетостроении. М., «Машиностроение», 1980.
- ПИ-269—80. Изготовление и контроль сотовых клееных конструкций из алюминиевых сплавов. НИАТ, 1981.
- РТМ-1093. Методы и средства выполнения и контроля клепадно-клеевых соединений. НИАТ, 1965.
- РТМ-1245. Технологические основы проектирования клееных конструкций из алюминиевых сплавов. НИАТ, 1969.
- Технологичность конструкций клеевых соединений. Рекомендации по технологичности самолетостроительных конструкций. НИАТ, 1972.
- Хертель Г. Тонкостенные конструкции. М., «Машиностроение», 1965.

Глава 5. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Современный уровень развития сварочной техники позволяет получать вполне надежные, прочные и герметичные соединения, обеспечивающие требуемую работоспособность конструкций в заданных условиях эксплуатации в течение определенного времени.

С помощью сварки можно изготавливать неразъемные герметичные и негерметичные конструкции сложнопостроенной формы, выполненные различными технологическими процессами (штамповкой, ковкой, прокаткой, механической обработкой и т. п.).

Высокая экономичность сварных соединений обуславливает систематическое повышение объема применения сварки в производстве самолетов, особенно из теплостойких сталей и титановых сплавов. Однако трудоемкость и цикл изготовления сварных узлов зависят не только от технологии их изготовления, но и от конструктивных решений, принятых при проектировании.

В сварных изделиях взаимовлияние конструктивных форм и технологии проявляется наиболее сильно. Поэтому для создания технологичных сварных конструкций необходимо учитывать их особенности, специфические требования, предъявляемые к ним, особенности материалов для сварных узлов и т. п.

Технологичность сварных конструкций с учетом особенностей, вытекающих из назначения и условий их эксплуатации, определяется выбором целесообразной формы конструкции и типа соединения свариваемых элементов, материала и метода сварки.

Оценку технологичности конструкции следует проводить по количественным, качественным и экономическим показателям, вытекающим из анализа сварных соединений в конструкциях узлов и деталей изделия.

Основным количественным показателем технологичности сварных конструкций является коэффициент механизации K_m — отношение протяженности швов, назначенных к выполнению автоматическими и механизированными способами, к общей протяженности сварных соединений изделия. Он обуславливает высокую производительность изготовления сварных узлов, минимальную стоимость труда и стабильное качество сварных соединений. При современном уровне развития сварочной техники и технологии коэффициент механизации должен достигать 65—80%.

Не менее важной характеристикой технологичности сварных конструкций являются их качественные показатели, к основным из которых относятся хорошая свариваемость материалов, правильное сочетание материалов и сварочных проволок.

При соединении деталей и узлов летательных аппаратов наибольшее распространение получили два сварочных процесса: сварка плавлением и контактная сварка.

РУКОВОДСТВО ПО УНИФИКАЦИИ ОБОЗНАЧЕНИЙ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И СПОСОБОВ СВАРКИ В КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В стандартах и других технических документах отсутствует единая система условных обозначений сварных соединений и способов сварки, что затрудняет использование обозначений в конструкторской документации.

ГОСТ 2.312—72 «Условные изображения и обозначения швов сварных соединений» предусматривает отражение в конструкторской документации условных обозначений типа сварного соединения, способа сварки, конструктивных элементов и других вспомогательных знаков.

В настоящем руководстве приведены системы условных унифицированных обозначений сварных соединений и способов сварки; даны рекомендации по применению их в конструкторской и другой технической документации в соответствии с требованиями ГОСТ 2.312—72 для швов, выполненных по стандартам и технологическим (производственным) инструкциям, ссылка на которые допускается ГОСТ 2.109—73 п. 1.12 «ЕСКД. Основные требования к чертежам». Унифицированные системы допускают оперативное изменение содержания без изменения других позиций.

Условные обозначения сварных соединений

Система условных обозначений сварных соединений построена на основе рекомендаций ВНИИНМАШ. Система устанавливает шестизначные буквенно-цифровые обозначения (коды) по основным классификационным признакам:

	X	XX	XX	X
Вид сварного соединения				
Форма поперечного сечения первой кромки (с меньшим кодом)				
Форма поперечного сечения второй кромки (с большим кодом)				
Характер сварного соединения				

Кодирование сварных соединений выполняется по следующим признакам:

- виду соединения — первый знак (табл. XIV.5.1);
- форме поперечного сечения кромки с меньшим кодом (второй и третий знаки) и с большим кодом (четвертый и пятый знаки) (табл. XIV.5.2);
- характеру сварного шва (шестой знак) (табл. XIV.5.3).

Примеры обозначений сварных соединений приведены в табл. XIV.5.4.

Таблица XIV.5.1

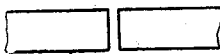
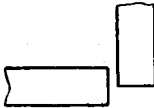
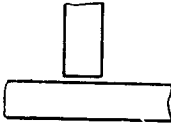
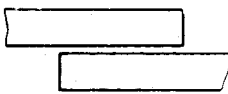

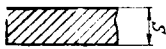
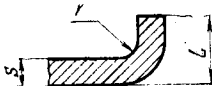
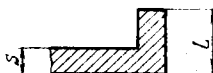
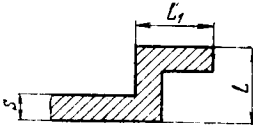
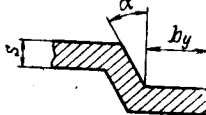
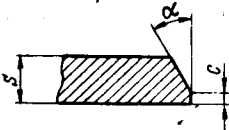
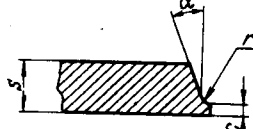
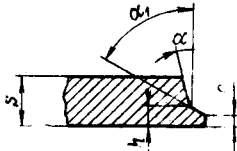
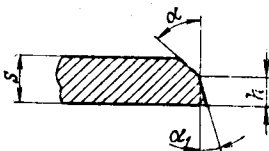

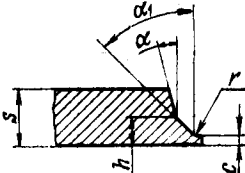
Код	Вид соединения	
С	Стыковое	
У	Угловое	
Т	Тавровое	
Н	Нахлесточное	
Ц	Торцовое	
	Резерв	

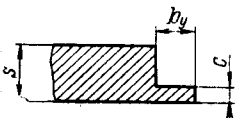
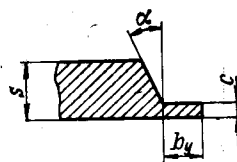
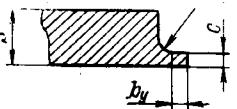
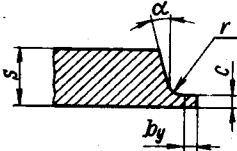
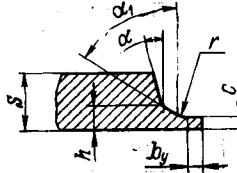
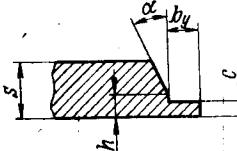
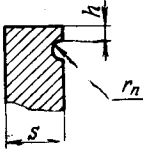
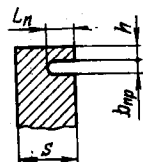
Таблица XIV.5.2

Код	Форма поперечного сечения кромок и их конструктивные элементы	
00	Без разделки кромок	
01	С односторонней разделкой кромок	
02		

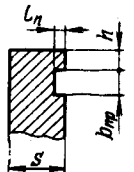
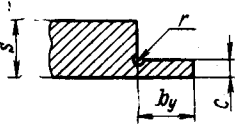
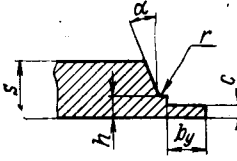
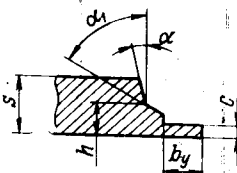
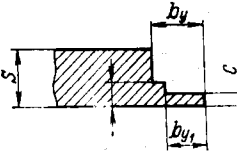
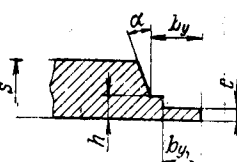
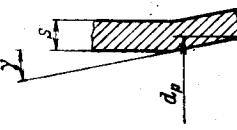
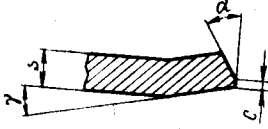
Продолжение табл. XIV.5.2

Код	Форма поперечного сечения кромок и их конструктивные элементы	
03	С односторонней разделкой кромок	
04		
05		
06		
07		
08		
09		
10		

Продолжение табл. XIV.5.2

Код	Форма поперечного сечения кромок и их конструктивные элементы	
11	С односторонней разделкой кромок	
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

Продолжение табл. XIV.5.2

Код	Форма поперечного сечения кромок и их конструктивные элементы	
19	С односторонней разделкой кромок	
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		

Продолжение табл. XIV.5.2

Код	Форма поперечного сечения кромок и их конструктивные элементы	
27	С односторонней разделкой кромок	
28		
29		
30		
31		
32		
33		

Продолжение табл. XIV.5.2

Код	Форма поперечного сечения кромок и их конструктивные элементы	
34	С односторонней разделкой кромок	
35		
36-54	Резерв	
55	С отверстиями и выступами	
56		
57		
58		
59		

Продолжение табл. XIV.5.2

Продолжение табл. XIV.5.2





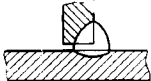
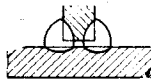

Код	Форма поперечного сечения кромок и их конструктивные элементы	
60	С отверстиями и выступами	
61		
62—69	Резерв	
70	С двусторонней разделкой кромок	
71		
72		
73		
74		

Код	Форма поперечного сечения кромок и их конструктивные элементы	
75	С двусторонней разделкой кромок	
76		
77		
78		
79		
80		
81—99	Резерв	





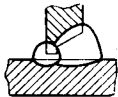

Примечание. В табл. XIV.5.2 приняты следующие условные обозначения:

- s — толщина свариваемых кромок;
- r_0 — радиус скругления отбортовки;
- L — длина отбортовки кромок;
- α — угол скоса кромок;
- b_y — ширина уступа кромок;
- c — величина притупления кромок;
- r — радиус скругления скоса;
- h — глубина разделки кромок;
- $L_{пр}$ — длина прорези;
- $b_{пр}$ — ширина прорези;
- $h_{уст}$ — высота уступа;
- b_6 — ширина буртика;
- h_6 — высота буртика;
- $r_{пр}$ — радиус скругления прорези;
- $d_в$ — диаметр выступа;
- $D_в$ — диаметр точки точечного шва;
- h_{yc} — усиление шва;
- H — высота выступа;
- $b_{ш}$ — ширина шва;
- b — ширина зазора между кромками.

Таблица XIV.5.3

Код	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения сварного шва
0	Односторонний	
1	Двусторонний	
2	Односторонний на остающейся подкладке	
3	Односторонний с расплавленной вставкой	
4	Односторонний с неполным проваром	
5	Двусторонний с неполным проваром	
6	Без указания характера сварного шва	—
7	Точечный	
8—9	Резерв	

Продолжение табл. XIV.5.4

Кодовое обозначение	Форма поперечного сечения сварного соединения	Кодовое обозначение	Форма поперечного сечения сварного соединения
C00310		T00711	
C05120		H00006	
T00061		Ц19190	

Условные обозначения способов сварки

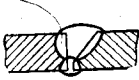
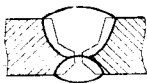
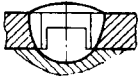

Обозначения способов сварки разработаны на основе ГОСТ 19521—74 и рекомендаций международного стандарта ИСО 4063, 1978.

Устанавливается четырехзначная классификационная система обозначений по наиболее характерным признакам, указанным в табл. XIV.5.5—XIV.5.8. В структуре процессов сварки каждая ступень классификации обозначена одним цифровым индексом. На каждой ступени классификации операции кодируют цифрами от 1 до 9.

Структура кода процессов сварки приведена на схеме XIV.5.1, а цифровые коды видов и классов сварки и их классификационных признаков —

Таблица XIV.5.5

Коды видов сварки 1-го знака

Кодовое обозначение	Форма поперечного сечения сварного соединения	Кодовое обозначение	Форма поперечного сечения сварного соединения
C00051		C76761	
H55580		C00003	

Код	Виды сварки
1	Дуговая
2	Контактная
3	Газовая
4	Электрошлаковая
5	Прочие виды термического класса
6	Прочие виды термомеханического класса
7	Механического класса
8—9	Резерв

Таблица XIV.5.6

Коды признаков 2-го знака

Код	Тип электрода для сварки		Форма сварного соединения при контактной сварке	Окислитель при газовой сварке	Источник нагрева, энергии при прочих видах сварки класса		
	дуговой	электрошлаковой			термического	термомеханического	механического
0	Без указаний						
1	Плавящийся покрытый	Проволочный	Точечная	Кислород	Индукционный		Взрыв
2	Плавящийся	Пластиначный (ленточный)	Шовная	Воздух	Электронный луч		Трение
3	Плавящийся самозащитный	Плавящийся мундштук	Рельефная	Резерв	Термит		Холодное сдавливание
4	Плавящийся порошковый	Резерв	Шовно-стыковая	»	Световой луч (лазер)	Электрошлаковый	Ультразвук
5	Неплавящийся металлический	»	Стыковая	»	Плазменный	Радиационный	Магнитный импульс
6	Неплавящийся с присадкой	»	Стыковая оплавлением	»	Ионный луч	Проходящий ток	Резерв
7	Неплавящийся графитовый	»	Стыковая сопротивлением	»	Перегретый расплав	Дуга	»
8	Резерв	»	Резерв	»	Атомноводородная плазма	Газовое пламя	»
9	»	»	»	»	Резерв	Резерв	»

Таблица XIV.5.7

Коды признаков 3-го знака

Код	Защитная среда для всех видов сварки (кроме газовой)	Горючий газ для газовой сварки
0	<i>Без указаний</i>	
1	Воздух	Ацетилен
2	Инертные газы и их смеси	Пропан-бутан
3	Активные газы (CO ₂ и др.)	Водород
4	Смеси инертных и активных газов	Керосин
5	Флюс (сварка под флюсом)	Бензин
6	Флюс (сварка по флюсу)	Метан
7	Инертные газы с флюсом	Резерв
8	Вакуум	
9	Резерв	

Таблица XIV.5.8

Коды признаков 4-го знака

Код	Условия формирования сварного соединения для сварки			Форма сварного соединения при сварке механического класса
	дуговой	контактной	прочих видов термического класса	
0	<i>Без указаний</i>			
1	На весу	С клеем	Прессованием	Точечная
2	На съемной подкладке	С грунтом	Диффузионным сращиванием	Шовная
3	На флюсовой подушке	С герметиком (пастой)	Резерв	Стыковая
4	На флюсомедной подкладке	Резерв	»	Резерв
5—9	Резерв	»	»	»

в табл. XIV.5.6—XIV.5.8. При отсутствии классификационного признака или при отсутствии необходимости обозначения конкретного признака представляется код «0» (ноль).

Примеры обозначений основных способов сварки даны в табл. XIV.5.9.

Схема

Структура кодов процессов сварки

	X	X	X	X
Вид или класс сварки (табл. XIV.5.5)				
Тип электрода и наличие присадки для дуговой электрошлаковой сварки (табл. XIV.5.6)				
Форма сварного соединения для контактной сварки (см. табл. XIV.5.6)				
Окислитель для газовой сварки (см. табл. XIV.5.6)				
Источник энергии (нагрева) для прочих видов сварки термического, термомеханического и всех видов механического классов (см. табл. XIV.5.6)				
Защитная среда для всех классов (кроме газовой) сварки (табл. XIV.5.7)				
Горючий газ для газовой сварки (см. табл. XIV.5.7)				
Условия формирования сварного соединения (табл. XIV.5.8) для дуговой, контактной и прочих видов сварки термомеханического класса				
Форма сварного соединения для видов сварки механического класса (см. табл. XIV.5.8)				

Таблица XIV.5.9

Обозначения способов сварки

Код	Способ сварки
1000	Все способы дуговой сварки
1020	Дуговая сварка в инертных газах
1100	Дуговая сварка штучными электродами
1050(1250)	Дуговая сварка под флюсом
1220	Дуговая сварка плавящимся электродом в инертных газах
1230	Дуговая сварка плавящимся электродом в активных газах
1520	Дуговая сварка неплавящимся электродом в инертных газах
1570	Дуговая сварка неплавящимся электродом в инертных газах с флюсом
1620	Дуговая сварка неплавящимся электродом с присадочным металлом в инертных газах
2100	Контактная точечная сварка
2101	Контактная точечная сварка с применением клея (клеесварное соединение)
2200	Контактная шовная сварка
2300	Контактная рельефная сварка
2500	Контактная стыковая сварка
3110	Газовая сварка (кислородно-ацетиленовая)
4000	Электрошлаковая сварка
5200	Электронно-лучевая сварка
5400	Лазерная сварка
5500	Плазменная сварка
5800	Атомноводородная сварка

Условные изображения и обозначения швов в конструкторской документации

Условное изображение сварных соединений производить без указания размеров конструктивных элементов шва, то есть без сечения.

Структура условного обозначения шва устанавливается ГОСТ 2312—72 по схемам черт. 5, 6, 7 и 8 с использованием унифицированных обозначений сварных соединений и способов сварки, приведенных в технологических инструкциях и настоящем руководстве, и выполняется по одному из следующих вариантов:

1. Шву (швам) присваивать порядковый номер и наносить его вместе со вспомогательными знаками на полку или под полкой линии-выноски (п. 2.4, 2.8 ГОСТ 2312—72).

В технических требованиях чертежа для каждого номера указывать:

- шифр технологической инструкции, по которой выполняется сварка;
- обозначение типа сварного соединения и через дефис — способ сварки;
- категорию сварного соединения, объем и метод контроля в соответствии с инструкцией.

При необходимости следует указывать (написать) степень автоматизации и другие сведения.

2. На полке или под полкой линии-выноски (п. 2.4 ГОСТа) наносить обозначение шва, через дефис — способ сварки и вспомогательные знаки, а в технических требованиях чертежа — остальные сведения в соответствии с п. 1.

Примеры условных изображений и обозначений сварных соединений приведены в табл. XIV.5.10.


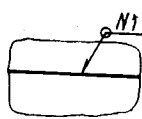
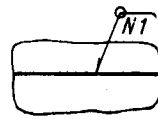
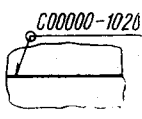
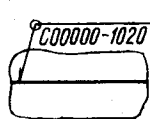

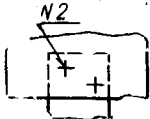
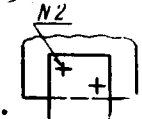
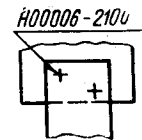
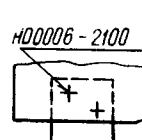

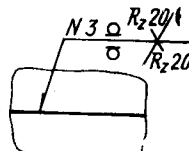
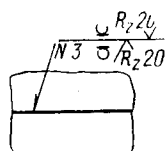
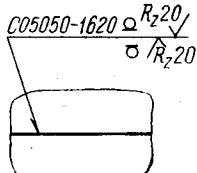
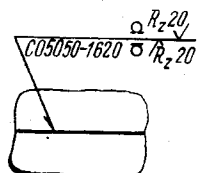
При выполнении сварного соединения несколькими способами сварки шифры инструкции и условное обозначение сварных соединений и способов сварки записывать через знак дроби (/) в зависимости от последовательности сварки. Например, если первый проход стыкового одностороннего соединения выполняется аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом на весу по инструкции ПИ-75—79, а последующие проходы — сваркой под флюсом по инструкции ПИ-123—77, то в чертеже следует обозначить: по ПИ-75—79/ПИ-123—77 СО6060-1521/1050.

В настоящем руководстве для сокращения в таблицах после цифрового кода способа сварки через точку проставлены дополнительные буквенные обозначения, которыми следует пользоваться, если необходимо указать более подробные сведения о процессе сварки. Первый знак характеризует степень механизации процесса сварки (А — автоматическая, П — полуавтоматическая и Р — ручная), второй знак — прием выполнения способа сварки: И — импульсной дугой; Т — трехфазной дугой; П — погруженной дугой; М — магнитоуправляемой дугой; К — в камере с контролируемой атмосферой; Д — двумя дугами; У — в узкой разделке («щелевая» сварка).

Знак «О» обозначает отсутствие указания по данному признаку. Например:

1020.АО — автоматическая дуговая сварка в инертных газах;

Примеры условных обозначений сварных соединений

Характеристика шва	Форма поперечного сечения	Вариант	Условное изображение шва, изображенного на чертеже со стороны		Технические требования чертежа
			лицевой	обратной	
Шов стыкового соединения первой категории без разделки кромок, выполняемый автоматической аргонодуговой сваркой по замкнутой линии на узле из стали		1			Шов № 1 по ПИ-75-79, С00000-1020, I категории. Сварка автоматическая
		2			Сварка по ПИ-75-79, автоматическая Шов I категории
Одиночные точки в нахлесточном соединении, выполненные контактной точечной сваркой на узле из стали		1			Шов № 2 по ПИ-1.4.853-81, Н00006-2100
		2			Сварка по ПИ-1.4.853-81
Односторонний шов стыковых соединений с односторонней, прямолинейной разделкой кромок, выполняемый ручной аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом с присадочным металлом на узле из алюминиевого сплава (усиление и проплав снять с шероховатостью Rz20)		1			Шов № 3 по ПИ-113-75, С05050-1620
		2			Сварка по ПИ-113-75

1020.АП — автоматическая дуговая сварка в инертных газах погруженной дугой;

1620.ОК — дуговая сварка неплавящимся электродом с подачей присадочного металла в камере с инертным газом (контролируемой атмосферой).

СПОСОБЫ СВАРКИ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Современные конструкции летательных аппаратов характеризуются большим разнообразием

примяемых типов сварных соединений, марок материалов и способов сварки.

Область применения различных способов сварки приведена в табл. XIV.5.11 с указанием минимальных толщин, при которых целесообразно применение способа сварки, или пределов толщин, которые позволяют обеспечить провар за один проход в зависимости от материала.

Область применения основных процессов сварки

Вид сварки	Способ сварки	Тип конструкций деталей и узлов	Материалы	Толщина материала, мм
Дуговая сварка штучными электродами	Ручной	С короткими и криволинейными швами во всех пространственных положениях и труднодоступных местах	Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы Технический алюминий	1,0 и выше 6,0 и выше
Дуговая сварка под флюсом	Автоматический	С прямолинейными швами (более 100 мм) и кольцевыми швами диаметром более 70 мм в нижнем положении	Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали Титановые сплавы	2,0 и выше 3,0 и выше
	Полуавтоматический	С короткими и криволинейными швами в нижнем положении	Технический алюминий	6,0 и выше
Дуговая сварка в среде инертных газов (аргона, гелия и смесей газов) неплавящимся (вольфрамовым) электродом	Ручной	С короткими и криволинейными швами, а также для сварки швов в труднодоступных местах	Низколегированные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы, титановые, алюминиевые и магниевые сплавы	0,6 и выше
	Автоматический: импульсной и непрерывной дугой	С прямолинейными (более 100 мм), кольцевыми и круговыми швами	Стали Алюминиевые и титановые сплавы	0,1—3,0 0,5—3,0
	погруженной дугой		Алюминиевые, магниевые и титановые сплавы	10—20
	трехфазной дугой		Алюминиевые сплавы	5—20
	Сжатой дугой (плазменная сварка)		Стали	0,1—10
	По флюсу-реагенту		Титановые сплавы	0,5—16
	В контролируемой атмосфере	Сложная конструкция с недостаточной защитой обратной стороны шва	Стали Титановые сплавы	3—6 3—12
	Точками (точечная сварка в аргоне)	С односторонним подходом и при невозможности использования контактной сварки	Титановые сплавы, активные и редкоземельные металлы	0,5 и выше
Дуговая сварка в среде защитных газов плавящимся электродом	Магнитоуправляемой дугой	Трубопроводы с неповоротными стыками и конструкции труба — трубная доска	Низколегированные и нержавеющие стали	0,3—1,5 со стороны сварки; до 10 с обратной стороны
	Автоматический в инертных газах	С прямолинейными (более 100 мм) и кольцевыми швами	Нержавеющие стали и титановые сплавы	0,5—1,5
	Полуавтоматический в инертных газах	С короткими и криволинейными швами	Низколегированные, нержавеющие и жаропрочные стали	0,5 и выше
	Автоматический в углекислом газе	С прямолинейными (более 100 мм) и кольцевыми швами	Алюминиевые и магниевые сплавы	5,0 и выше
	Полуавтоматический в углекислом газе	С короткими и криволинейными швами	Малоуглеродистые, низколегированные и некоторые жаропрочные стали	3,0 и выше 1,0 и выше
Электрошлаковая сварка	—	Большого сечения	Конструкционные нержавеющие и жаропрочные стали	30 и выше
Электронно-лучевая сварка	—	Ответственные	Тугоплавкие металлы (молибден, ниобий, вольфрам, цирконий, медь и ее сплавы и др.)	0,2—10
	—	—	Титановые сплавы	0,5—60
	—	—	Низколегированные, высокопрочные и нержавеющие стали	0,1—40
	—	—	Алюминиевые сплавы	1—60
Газовая и атомно-водородная сварка	—	Слабо нагруженные	Малоуглеродистые и низколегированные стали, алюминиевые сплавы ($\sigma_B \leq 17$ кгс/мм ²)	0,5—1,5
Лазерная сварка	—	Ответственные	Медь и ее сплавы Все стали и сплавы	0,5—1,5 0,1—10,0

Вид сварки	Способ сварки	Тип конструкций деталей и узлов	Материалы	Толщина материала, мм
Контактная точечная сварка	Двусторонний	Не требующие герметичности, с подходом электродов к месту сварки с двух сторон	Конструкционные, нержавеющие, жаропрочные стали и сплавы, титановые сплавы	До 4,0
	Односторонний	С подходом электродов к месту сварки с одной стороны	Алюминиевые и магниевые сплавы	До 7,0
Контактная шовная сварка	—	С плотнопроводными швами и двусторонним подходом роликов к месту сварки	Конструкционные, нержавеющие, жаропрочные стали и сплавы, титановые, алюминиевые и магниевые сплавы	До 2,5
Контактная рельефная сварка	—	Корпусы с приварной арматурой (фланцами, штуцерами и др.) диаметром 25 мм	Конструкционные, нержавеющие и некоторые жаропрочные стали	До 4
Контактная стыковая сварка	—	Профильные конструкции, кольцевые заготовки, стрингеры и др.	Конструкционные стали	Сечение, мм ² , до: 10 000
			Нержавеющие и жаропрочные стали	3000
			Алюминиевые сплавы	2000

Технологические возможности оборудования для сварки

Дуговая, плазменная и электрошлаковая сварка

Возможность применения определенного способа сварки зависит от конструкции сварного изделия и технологических характеристик сварочного оборудования.

Расположение сварного соединения, форма и размеры сварного изделия должны обеспечивать возможность подхода сварочной головки (горелки) к месту сварки.

Характеристики оборудования для дуговой сварки приведены в табл. XIV.5.12.

По данным таблицы можно определить возможность выполнения проектируемой сварной конструкции выбранным способом сварки в зависимости от оборудования.

В таблице представлены установки для автоматической сварки продольных, кольцевых, криволинейных и торцовых швов на изделиях. Они состоят из сварочного автомата или головки, механизма перемещения или закрепления изделия и источника питания.

В зависимости от применяемого способа сварки и материала изделия установки комплектуются различными автоматами (головками) и источниками питания: для автоматической сварки в среде защитных газов — автоматами или головками типа АРК-3, АДСВ-6, АДСВ-6Р, ГСВ-4, АСГВ-4, АСГВ-4Р, АГВ-5, АГП-4 и др.; для сварки погруженной дугой — головками типа ГСПД-1; для сварки трехфазной дугой — головками типа АГТФ-1; для двухдуговой сварки — головками типа

ГСП-3; для автоматической плазменной сварки — горелками ГЗД-3, ГЗД-4 или ГЗД-6; для автоматической сварки под слоем флюса — автоматами типа АДС-1000-5; для электрошлаковой сварки — автоматом типа А-612.

Для выполнения кольцевых, продольных и торцовых швов изделий из титана и химически активных металлов предназначены установки для автоматической сварки в контролируемой атмосфере. Установки для автоматической сварки в контролируемой атмосфере состоят из герметичной камеры с механизмами перемещения и вращения изделия, сварочной головки, станции питания (источника питания и пульта управления) и оптических средств наблюдения.

Для полуавтоматической сварки угловых, нахлесточных и стыковых соединений различной конфигурации в любых пространственных положениях предназначены полуавтоматы ППП-17, ПДГ-305 и др. Они состоят из сварочного пистолета и механизма подачи электродной проволоки.

В качестве источников питания установок применяются:

для автоматической и полуавтоматической сварки сталей и алюминиевых сплавов плавящимся электродом — источники питания постоянного тока типа ВСП-315, ВСП-630, ВСП-1000, ВСВ-1000, ВДГ-301, ВСК-303, ВДУ-504 и др.;

для автоматической и ручной сварки сталей и титановых сплавов неплавящимся электродом — источники питания постоянного тока типа ВСВУ-40, ВСВУ-80, ВСВУ-160, ВСВУ-315, ВСВУ-630, ТИР-200В, ТИР-300Д и ТИР-300ДМ;

для автоматической и ручной сварки алюминия и его сплавов вольфрамовым электродом в среде инертных газов — источники питания переменного тока типа ИСВУ-80, ИСВУ-160, ИСВУ-315, ИСВУ-630, ИСВУ-1000, ИПК-350-4, ТИР-300Д и

ТИР-300ДМ, ВД-304, УДГ-301, УДГ-501, а также типа ИТД-600/1000М (для сварки трехфазной дугой), ВСВ-1000 (для сварки погруженной дугой), ТШС-1000-1 (для электрошлаковой сварки).

Таблица XIV.5.12

Оборудование для дуговой сварки

Наименование и назначение	Тип	Габаритные размеры свариваемых изделий, мм		Толщина свариваемого материала, мм
		длина	диаметр	
Установки для автоматической сварки прямолинейных швов в среде защитных газов	УСПО-400	400	210—900	До 6
	УСПО-900	900	205—1250	
	УСПО-1300	1300	250—1250	
	УСПО-1800	1800	900—1250	
	УСПО-2200	2200	950—1250	
	УСПО-3000	3000	450—1250	
То же, под слоем флюса	УСП-11	1000	150—1500	6—20
Установки для автоматической сварки кольцевых швов в среде защитных газов	УСК-14	5000	20—200	0,6—4
	УСК-3	5000	200—500	1,5—5
	УСК-3500	3500	500—1000	3—6
	УСК-7000	7000	500—1000	3—6
То же, в потолочном положении	УСК-16	3000	300—800	До 3,5
То же, под слоем флюса	УСКФ-1	3000	80—400	6—60
Установка для автоматической сварки фланцев в корпусах обечаек в среде защитных газов	УСФ-8ПУ		100—500	3—4
			(для фланцев)	—
			800—1600 (для обечаек)	
Установки для автоматической сварки продольных и кольцевых швов в среде защитных газов	УСБ-3Ш	200	20—200	1,5—6
	МАК-4УМ	1000	До 1800	0,3—1,5
Комплект автоматов для сварки неповоротных стыков труб в монтажных и стационарных условиях	АСТ-1 и АСТ-2 (АСНК)	Не ограничивается	8—25; 24—60;	0,8—3
	АСТ-3		58—85; 75—115;	
	ОДА		115—220	
	ТАМ			
	УСТ-14			
Комплект головок для автоматической сварки неповоротных стыков труб вращающейся дугой в монтажных условиях	ГТМ-3	Не ограничивается	6—24	0,5—1,5
			25—45	
			46—72	
Установки для приварки арматуры к трубопроводам	УСТ-9	То же	40—200	0,6—2,5
	УСТ-10			
Стенды для автоматической сварки прямошовных труб	СПТ-5	2000	60—200	0,6—1,5
	СПТ-4			
Установка для прихватки продольных стыков труб	УПТ-2	1800	30—200	0,6—2,0
Установки для полуавтоматической сварки продольных прямых и криволинейных стыков	ПУСК-3	—	40—120	0,6—2
	ПУСК-4М	—	45—200	0,6—2
Полуавтоматы для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов коротких и криволинейных швов	ПШП-17	Не ограничивается	Не ограничивается	0,6—2
	ПДГ-305			Более 1
	ПДГ-307			—
	ПДПГ-500-1			»
	А-547У			»
				»
Установка для автоматической дистанционной сварки заправочных горловин	УСЗГ-1	—	20—300	0,8 и более

Наименование и назначение	Тип	Габаритные размеры свариваемых изделий, мм		Толщина свариваемого материала, мм
		длина	диаметр	
Комплектуемое оборудование: автомат	АРК-3	2600 2100 2600 2100	3000 3000 1500 1500	0,8 и более
манипуляторы	МАС-1 (грузоподъемность 1000 кг) МАС-2 (грузоподъемность 1500 кг) МАС-3 (грузоподъемность 3000 кг)	— — —	250—500 500—1200 1200—3000	—
Установки для ручной сварки в камере с контролируемой атмосферой	УСКС-10 (УСКС-2Р) УСКС-11 УСКС-12 (УСКС-5) УСКС-13 УСКС-14 (УСКС-4М) УСКС-15 (УСКС-5) УСКС-16 (УСКС-7) УСКС-17 (УСКС-7)	Ø800×1600* Ø1200×2800* 1000×1000×1000* 2200×1000×800*	— — —	— 0,8 и более 0,8 и более 0,8 и более
Установки для автоматической сварки в контролируемой атмосфере	УСКС-4М УСКС-9	2940×1600×760* Ø200—400* (10 изд.)	— —	0,8 и более 0,8 и более
Установка для автоматической сварки арматуры к трубопроводам в обитаемой камере	УСТ-11	Ø40—200	—	0,6—2,5
Установка для автоматической сварки кольцевых швов в локальной камере с обменом защитной атмосферы	УСМК-2	Ø700*	—	0,6 и более

* Размеры камеры.

Контактная сварка

Технические характеристики основных типов оборудования контактной сварки приведены в табл. XIV.5.13 и XIV.5.14.

Следует учитывать, что при контактной точечной и шовой сварке возможности выполнения сварных конструкций определяются:

толщиной и маркой материала свариваемых деталей;

полезным вылетом машины (длина сварной конструкции при одностороннем подходе не должна превышать вылета консоли и двойной длины вылета при двустороннем подходе);

размерами, которые зависят от диаметра консоли и длины электрододержателя с электродом или диаметра сварочного ролика;

раствором консолей (расстоянием между консолями).

При контактной стыковой и рельефной сварке возможности выполнения сварных конструкций определяются мощностью оборудования, максимальным сечением или площадью рельефа (выступов) свариваемого материала, а в некоторых случаях — и типом машины.

Наиболее производительны для точечной и шовой сварки специальные установки, состоящие из сварочной машины и вспомогательного агрегата (стенда).

Электронно-лучевая сварка

Технологические характеристики основных типов оборудования электронно-лучевой сварки приведены в табл. XIV.5.15.

При проектировании конструкций, выполняемых указанным видом сварки, необходимо учитывать: — габаритные размеры изделия со сборочно-сварочным приспособлением;

Таблица XIV.5.13

Продолжение табл. XIV.5.13

Универсальное оборудование для контактной сварки

Тип машины	Максимальные размеры рабочего пространства, мм		Толщина свариваемых материалов, мм	
	вылет консоли	раствор (расстояние между консолями)	стали и сплавы титана	алюминиевые и магниевые сплавы
<i>Машины для точечной сварки</i>				
МТ-809* МТ-810	315	270	0,25—0,8	—
МТ-604	275	250	0,3—0,8	—
МТ-1207* МТ-1208*	500	230	0,3—1,2	—
МТ-1209* МТ-1214*	400	270	0,3—1,2	—
МТ-1223	500	300	0,5—3	—
МТ-1607* МТ-1610* МТ-1613* МТ-1618	500	220	0,5—1,5	—
МТ-1609* МТ-1614	600	300	0,3—1,8	—
МТ-2507* МТ-2510*	600	215	0,5—3	—
МТП-75* МТП-100*	500	270	0,5—1,5	—
МТП-150* МТП-200*	500	290	0,5—3	—
МТ-2002	1200	260	0,8—4	—
МТП-150/ 1200-1М*	1200	270	0,5—3	—
МТП-200/ 1200-3	1200	260	0,8—4	—
МТ-3201 МТПУ-300*	500	260	0,3—3	0,3—1,2
МТК-75*	1500	500	0,5—1,5	0,3—2
МТК-5001	500	260	0,3—1,2	0,3—1,2
МТК-6301*	1200	300	0,5—1,5	0,3—1,5
МТК-8004	1500	450	0,3—2	0,3—2,5
МТКР-4001 (МТР-1)	1200	500	0,5—1,5	0,3—1,2
МТПТ-400*	1500	500	0,5—3	0,3—2,5
МТВР-4001	1200	390	0,3—2,5	0,3—1,5
МТВ-6304	1500	450	0,3—4	0,3—3,8
МТВ-8002	1500	600	—	0,8—4,5
МТВ-16002	1700	650	—	2,5—8
МТПТ-600*	1500	650	—	0,3—4
<i>Подвесные машины для точечной сварки</i>				
МТПГ-75-6	42/140	—	0,5—1,5	—
МТПГ-150-2	300	—	0,5—3,0	—
МТПП-75	50/140	—	0,5—1,5	—
МТП-1203	300	—	0,5—3,0	—
МТП-806	205	—	0,5—1,5	—
МТП-807	205	—	0,5—1,5	—

Тип машины	Максимальные размеры рабочего пространства, мм		Толщина свариваемых материалов, мм	
	вылет консоли	раствор (расстояние между консолями)	стали и сплавы титана	алюминиевые и магниевые сплавы
<i>Машины для рельефной сварки</i>				
МР-2517	300	230—330	50 мм ^{2**}	—
МР-4017	300	230—330	150 мм ^{2**}	—
МР-6303	300	200—450	220 мм ^{2**}	—
<i>Машины для шовной сварки</i>				
МШ-1601	400	100	0,3—1,2	—
МШ-2001-1	800	120	0,5—1,5	—
МШ-3201	800	120	0,5—2	—
МШП-100* МШП-150*	800	80	0,5—2	—
МШПР-300/ 1200*	1200	150	0,5—3	—
МШВ-1601	1500	500	0,3—3	—
МШВ-6301-2	1200	300	0,3—3	0,5—3
МШШИ-400*	1200	250	0,5—2	0,8—2,8
МШВ-12001	1300	200	—	1,2—4,5
МШШТ-600*	1500	350	—	1—3
МШШТ-1000*	1500	350	—	1,5—4,5
МР-4*	20—100 мм (диаметр свариваемой детали)	—	0,1—0,5	—
МРК-5	То же	—	0,1—0,4	—
<i>Машины для стыковой сварки</i>				
МСГ-150/ 30ПУ	—	—	До 3000 мм ^{2***}	—
МСГК-800/ 100	—	—	До 10000 мм ^{2***}	—
МС-2008	—	—	До 2000 мм ^{2***}	—
* Выпуск машин прекращен. ** Площадь рельефа. *** Площадь сечения свариваемой детали.				

— материалы изделия;
— толщины свариваемых элементов;
— требования, предъявляемые к сварному соединению.

Установки для сварки электронным лучом состоят из герметичной камеры с механизмами перемещения и вращения изделий, электронной пушки типа ЭП, вакуумной станции типа ВИ и ВА, источника питания типа ИВС, оптических и телевизионных средств наблюдения.

Таблица XIV.5.14

Специальное оборудование для контактной сварки

Тип машины	Максимальные размеры рабочего пространства, мм		Толщина свариваемых сталей и титановых сплавов, мм	Примечание
	вылет консоли	раствор (расстояние между консолями)		
Машины для точечной сварки				
МТ-5М	1800	60	До 0,8	—
УТС-11П	1100	80	До 1,2	—
УТС-5-2			0,4—1,0	Для сварки коробочек с профилями
УТС-5-3				
Машины для сварки сотовых панелей				
МРТ-СП-1	1000×500×15, 20, 30		0,03—0,6	—
МШТ-СП-1200	2000×1200×15, 20, 30		0,03—0,8	—
МРСК-40.02	1500×1400×(20÷150)		0,03—0,1	Для сварки заполнителя

Таблица XIV.5.15

Оборудование для сварки электронным лучом в вакууме

мм

Наименование и назначение	Тип	Габаритные размеры свариваемых изделий со швами				Длина продольного шва	Толщина изделий из	
		кольцевыми		торцовыми в горизонтальной плоскости			нержавеющих и конструкционных сталей	тугоплавких металлов, меди и ее сплавов
		диаметр	длина	диаметр	длина			
Установка для электронно-лучевой сварки: — сотовых панелей — труб	ЭДУ-5М	—			—	—	—	—
			750×150×50					
			Ø 6—200					
Установки для электронно-лучевой сварки кольцевых и прямолинейных швов	ЭЛУ-9А	800	1250	800	500	750	10	3
	ЭЛУ-9Б	800	900	800	100	900	10	3
	ЭЛУ-10А	1700	2200	1600	600	—	30	10
	ЭЛУ-11А	2000	2600	1800	600	1000	30	10
	ЭЛУ-13	3000	4500	2200	1500	1400	30	10
	ЭЛУ-20	1750	1200	—	—	2000	60	—
	ЭЛУ-21	1500	3600	—	—	5000	60	—
Установки для электронно-лучевой сварки узлов типа панелей	ЭЛУ-15	2000×1000×900					50	15
	ЭЛУ-18	750× 400×900						
Установка для электронно-лучевой сварки продольных швов	ЭЛУ-19	1800	—	—	—	80	30	10

Технологические требования к конструкциям сварных деталей и узлов

Общие требования

Сварная конструкция должна быть работоспособна в определенных условиях в течение задан-

ного срока эксплуатации. Работоспособность сварных конструкций определяется главным образом работоспособностью ее сварных соединений.

Работоспособность и надежность сварных соединений зависят не только от материала и способа сварки, но и от вида соединения и других

конструктивных особенностей сварных деталей и узлов.

Наиболее надежным видом соединения во всех случаях является стыковое.

К общим требованиям, обуславливающим положительную оценку технологичности сварных конструкций, относятся:

1. Назначение рациональных форм сварных соединений (прямолинейных, кольцевых, круговых и эллипсных), обеспечивающих возможность применения высокопроизводительных технологических процессов при максимальной механизации и автоматизации производственных операций.

2. Наличие свободных подходов к местам сварки, обеспечивающих возможность использования оборудования и технологической оснастки. С этой целью расстояние от выступающих элементов на деталях (например, полок фланцев и др.) до места стыкуемых кромок со стороны наложения сварного шва должно быть не менее 12—15 мм. С внутренней поверхности детали необходимо иметь доступ для установки ее в соответствующие (для каждого конкретного случая) приспособления (для защиты обратной стороны шва от окисления, соблюдения соосности, прижима или разжима стыкуемых кромок и т. п.).

3. Ограничение числа перекрещивающихся и близко расположенных сварных швов и удаление их от различных концентраторов напряжений (массивных выступающих частей, отверстий и т. п.).

4. Применение материалов с хорошей свариваемостью (см. табл. XIV.5.24, XIV.5.25); при назначении в конструкциях разноименных материалов необходимо учитывать их свариваемость, состав сварочных проволок (инструкции НИАТ) и возможность термообработки по режимам, не оказывающим вредного влияния на материал одной из сторон соединения (инструкции ВИАМ).

5. Назначение материалов для деталей под сварку в том исходном состоянии, которое рекомендовано ТУ или инструктивными указаниями ВИАМ, НИАТ для каждой конкретной марки материала.

6. Наличие подходов для установки детали (узла) в термофиксирующих приспособлениях в тех местах, где требуется соблюдение заданных в конструкции точных размеров, при необходимости проведения после сварки термообработки (для снятия сварочных напряжений или старения).

7. Определение при проектировании конструктором совместно с главным сварщиком предприятия категории ответственности сварного соединения, исходя из условий работы и назначения с учетом конструктивных особенностей узла (детали), применяемых материалов и т. п., а также определение требований к герметичности и методам испытаний.

Устанавливаются три категории соединений по убывающей степени ответственности (I—III).

8. Соединения I и II категорий рекомендуется выполнять стыковыми швами и выбирать такие способы сварки, как сварка в среде защитных газов, плазменная сварка и сварка электронным лучом.

Газовая сварка не рекомендуется. Для нахлесточных соединений рекомендуется точечная и роликовая сварка.

Требования к конструкциям из алюминиевых сплавов

1. Учитывать пониженную коррозионную стойкость сварных соединений при сварке материалов разноименных марок.

2. Учитывать, что наличие тугоплавкой окисной пленки приводит к несплавлениям или образованию шлака, поэтому применение замковых соединений не рекомендуется. Замковое соединение или подкладки с канавкой допускаются в случаях, когда сборка узла затруднена.

3. Подвергать химической очистке поверхности деталей, обрабатывать торцы с шероховатостью поверхности Rz 20—Rz 2,5 во избежание появления пористости и несплавлений в швах.

Требования к конструкциям из титановых сплавов

1. Титановые сплавы обладают высокой активностью по отношению к газам: кислороду, азоту, водороду и повышенной чувствительностью к перегреву (рост зерна), поэтому необходимо предусматривать возможность обязательной установки защитных устройств для защиты внешней и внутренней сторон шва (для ручной и полуавтоматической сварки предусматривать сварку в камерах с контролируемой атмосферой); не иметь закрытых полостей, карманов и т. п., так как они не позволяют произвести травление для удаления слоя, насыщенного газами после термической обработки узла.

2. Титановые сплавы имеют повышенную чувствительность к замедленному разрушению сварных соединений, поэтому сварные узлы и детали рекомендуется подвергать после сварки отжигу для снятия остаточных напряжений по режимам, рекомендованным ВИАМ.

3. Торцы деталей под сварку должны быть обработаны с шероховатостью поверхности Rz 20—Rz 2,5, а поверхность тщательно зачищена на 10—20 мм от торца.

4. Титановые сплавы весьма чувствительны к концентраторам напряжений, поэтому в конструкциях не рекомендуется использовать замковые соединения или остающиеся подкладки. Если же эти соединения в конструкции неизбежны, то следует предусматривать возможность их последующего удаления.

Требования к конструкциям из конструкционных сталей средней и высокой прочности

1. Стали средней прочности применяются в сварных конструкциях с закалкой (после сварки) на $\sigma_{\text{в}} \leq 120 \pm 10$ кгс/мм² и высокопрочные стали — на $\sigma = 150 \div 200$ кгс/мм².

2. Для конструкций из высокопрочных сталей рекомендуется применять только способы сварки в соответствии с табл. XIV.5.25.

3. Стали склонны к замедленному разрушению (холодным трещинам в сварных соединениях) и снижению пластичности в зоне сварного шва, поэтому требуют после сварки перед закалкой на

заданную прочность проведения термообработки для снятия остаточных напряжений.

4. Для получения равнопрочных с основным металлом сварных соединений рекомендуется утолщение стенок свариваемых деталей в месте стыка.

5. Рабочие поверхности корпусов (сосудов, цилиндров и др.) необходимо освобождавать от сварки арматурных и других деталей (штуцеров, бобышек, кронштейнов), которые следует располагать в местах утолщенных стенок сосуда, где рабочее напряжение ниже общего уровня (РТМ-1166).

Требования к конструкциям из теплостойких нержавеющей сталей

1. Учитывать, что теплостойкие нержавеющей стали чувствительны к загрязнениям атмосферы, что приводит к несплавлению кромок в корне шва. В связи с этим необходимо предусмотреть возможность установки защитных устройств, подкладок и др. для защиты обратной стороны шва.

2. Теплостойкие нержавеющей стали склонны к образованию карбидной околошовной зоны, что приводит к снижению коррозионных свойств соединения. В связи с этим следует избегать наложения близко расположенных друг от друга швов.

Требования к соединениям, выполняемым контактной сваркой

1. При проектировании деталей и узлов для точечной и шовной сварки необходимо предусматривать свободный доступ электродов (роликов) к месту сварки, форму и размеры деталей узла, соответствующие рабочему пространству применяемого оборудования, согласно табл. XIV.5.13—XIV.5.14.

2. Конструкция должна допускать возможность сварки в любой последовательности, что позволяет уменьшить деформации путем рационального подбора последовательности постановки сварных точек.

3. Для уменьшения деформаций свариваемые детали должны плотно прилегать друг к другу. Значения допустимых зазоров между деталями при сборке и после прихватки для точечных и шовных соединений I и II категорий приведены в табл. XIV.5.16. Для соединений III категории зазоры могут быть увеличены на 50%.

Таблица XIV.5.16

Минимально допустимые зазоры после сборки и прихватки под сварку
мм

Толщина тонкой детали	Зазоры на длине при сварке					
	точечной			шовной		
	100	200	300	25	50	100
Стали и титановые сплавы						
Св. 0,3 до 1,0	0,5	1,0	1,5	0,1	0,2	0,3
Св. 1,0 до 1,5	0,4	0,8	1,2	—	—	—
Св. 1,5 до 2,5	0,3	0,6	0,9	0,075	0,15	0,3
Св. 2,5	0,2	0,4	0,5	—	—	—
Алюминиевые и магниевые сплавы						
Св. 0,3 до 1,5	0,4	0,6	—	—	—	—
Св. 1,5 до 3,0	0,3	0,4	—	—	—	—
Св. 3,0 до 5,0	0,2	0,3	—	—	—	—
Св. 5,0	0,1	0,2	—	—	—	—

4. При проектировании сварных конструкций необходимо строго соблюдать требования к размерам сварных соединений, предусмотренные в табл. XIV.5.17—XIV.5.19.

Применение нахлестки меньших размеров снижает качество сварных соединений.

5. Шаг точек роликового шва рекомендуется устанавливать равным $0,5d$, где d — ширина литой зоны.

6. Допускается увеличение размеров литой зоны при условии отсутствия дефектов в соединениях.

Таблица XIV.5.17

Размеры элементов точечных и шовных сварных соединений из конструкционных, нержавеющей, жаропрочных сталей, титановых и медных сплавов

мм							
Толщина свариваемого материала	Диаметр литого ядра точки	Ширина литой зоны шва	Минимальные размеры		Минимальный шаг точек при сварке		
			нахлестки при одностороннем шве	оси шва от края нахлестки	низкоуглеродистых, низко-, среднеуглеродистых сталей	нержавеющих, жаропрочных сталей и титана	медных сплавов
0,3	2,5 ⁺¹	2,5 ⁺¹	6,0	3,0	8,0	7,0	9,0
0,4	2,7 ⁺¹	2,7 ⁺¹	7,0	3,5	9,0	8,0	10,0
0,5	3,0 ⁺¹	3,0 ⁺¹	8,0	4,0	10,0	9,0	12,0
0,6	3,2 ⁺¹	3,2 ⁺¹	8,0	4,0	10,0	9,0	12,0
0,7	3,3 ⁺¹	3,3 ⁺¹	9,0	4,5	11,0	10,0	13,0
0,8	3,5 ⁺¹	3,5 ⁺¹	10,0	5,0	13,0	11,0	14,0
1,0	4,0 ⁺¹	4,0 ⁺¹	11,0	5,5	14,0	12,0	16,0
1,2	5,0 ⁺¹	5,0 ⁺¹	13,0	6,5	15,0	13,0	17,0
1,5	6,0 ⁺¹	6,0 ⁺¹	14,0	7,0	17,0	15,0	19,0
1,8	6,5 ⁺¹	6,5 ⁺¹	15,0	7,5	19,0	17,0	22,0
2,0	7,0 ^{+1,5}	7,0 ^{+1,5}	17,0	8,5	21,0	18,0	23,0
2,5	8,0 ^{+1,5}	7,5 ^{+1,5}	19,0	9,5	23,0	20,0	26,0
3,0	9,0 ^{+1,5}	8,0 ^{+1,5}	21,0	10,5	28,0	24,0	31,0
3,5	10,5 ^{+1,5}	9,0 ^{+1,5}	24,0	12,0	32,0	28,0	36,0
4,0	12,0 ^{+1,5}	10,0 ^{+1,5}	28,0	14,0	37,0	32,0	42,0

Примечания:

1. При сварке соединения из трех деталей, а также узкой ленты с листом величину нахлестки увеличить на 25—30%.

2. При сварке деталей с отношением толщин более 2:1, а также при соединении более двух деталей величину шага увеличить на 20%.

3. Соединение деталей выполнять не менее чем двумя точками.

4. Для соединений с уменьшенными размерами литого ядра и нахлестки руководствоваться РТМ-1536—76.

Таблица XIV.5.18

Размеры элементов точечных и шовных соединений
из алюминиевых и магниевых сплавов

мм

Толщина тонкой детали в соединении	Диаметр литого ядра	Точечная сварка				Шовная сварка			
		минимальная нахлестка		минимальный шаг между точками	Расстояние между рядами точек	ширина литой зоны шва	минимальная нахлестка		
		шов односторонний	шов двухрядный (с шахматным расположением)				шов односторонний	шов двухрядный с перекрытием 30—50%	
0,3	2,5 ⁺¹	10	17	8	7	2,5 ⁺¹	10	13	
0,4	2,5 ⁺¹	10	17	8	7	2,5 ⁺¹	10	13	
0,5	3,0 ⁺¹	10	19	10	9	3,0 ⁺¹	10	13	
0,6	3,0 ⁺¹	10	19	10	9	3,0 ⁺¹	10	13	
0,8	3,5 ⁺¹	12	23	13	11	3,5 ⁺¹	12	16	
1,0	4,0 ⁺¹	14	27	15	13	4,0 ⁺¹	14	18	
1,2	5,0 ⁺¹	16	29	15	13	5,0 ⁺¹	16	20	
1,5	6,0 ⁺¹	18	35	20	17	6,0 ⁺¹	18	23	
1,8	6,5 ⁺¹	19	37	22	19	6,5 ⁺¹	19	24	
2,0	7,0 ^{+1,5}	20	42	25	22	7,0 ^{+1,5}	20	26	
2,5	8,0 ^{+1,5}	22	48	30	26	7,5 ^{+1,5}	22	28	
3,0	9,0 ^{+1,5}	26	56	35	30	8,0 ^{+1,5}	26	33	
3,5	10,5 ⁺²	28	62	40	35	9,0 ^{+1,5}	28	36	
4,0	12,0 ⁺²	30	69	45	39	10,0 ⁺²	30	38	
5,0	14,0 ⁺²	36	83	55	47	12,0 ⁺²	36	46	
6,0	16,0 ⁺²	42	98	65	56	—	—	—	
7,0	18,0 ⁺²	48	112	75	64	—	—	—	

Примечания:

1. Размеры нахлестки приняты при условии плоского участка без учета радиуса закругления.
2. При сварке лент или соединений из трех деталей нахлестку необходимо увеличить на 20%.
3. При сварке деталей с соотношением толщин более 2:1 величину шага следует увеличить на 20%.
4. Соединение деталей следует выполнять не менее чем двумя точками.
5. Для соединений с уменьшенными размерами литого ядра и нахлестки руководствоваться ТР-1.4.768—80.

7. Допустимое соотношение толщин в соединении двух деталей зависит от их категории и должно соответствовать данным табл. XIV.5.20.

Число деталей в соединениях I категории должно быть не более двух, II — не более трех, III — не более трех для алюминиевых сплавов и не более четырех — для сталей и сплавов титана. При этом соединение точечной или шовной сваркой более двух деталей допускается только после проведения опытных работ.

8. Точечные и шовные соединения деталей из нержавеющей сталей и титановых сплавов могут быть выполнены односторонней сваркой на токопроводящей подкладке и без нее.

Таблица XIV.5.19

Размеры элементов шовных сварных соединений
в узлах сильфонов с арматурой из нержавеющей сталей

мм

Толщина сильфона	Минимальные размеры		Максимальные зазоры после сборки и прихватки	Минимальная ширина литой зоны шва	Максимально допустимая толщина арматуры	Минимальный диаметр деталей
	нахлестки, N	оси шва от края нахлестки, N/2				
0,1	3,0	1,5	0,05	0,7	8,0	20
0,15	3,0	1,5	0,05	0,9	5,0	30
0,2	3,5	1,5	0,05	1,1	4,5	40
0,25	3,5	1,8	0,1	1,3	4,0	50
0,3	4,0	1,8	0,1	1,7	3,5	60
0,4	4,5	2,0	0,15	2,0	3,5	75
0,5	5	2,5	0,15	2,5	3,0	80

Таблица XIV.5.20

Допустимые соотношения толщин в соединении двух деталей

Категория соединения	Соотношение толщин, не более, из	
	сталей и титановых сплавов	алюминиевых сплавов
I	3	2
II	4	3
III	4	3

При односторонней сварке в соединении не должно быть более двух деталей, а соотношение толщин свариваемых деталей не должны превышать указанные в табл. XIV.5.21.

Таблица XIV.5.21

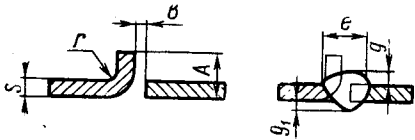
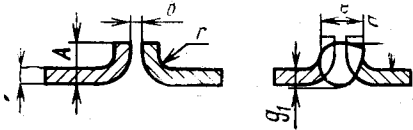
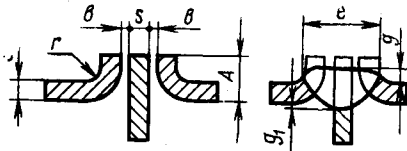
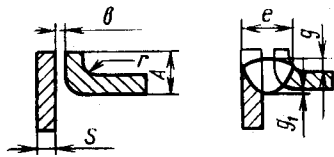
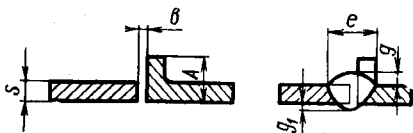
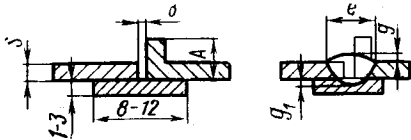
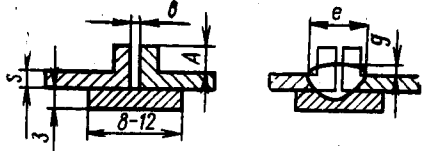
Предельно допустимые соотношения толщин деталей при односторонней точечной сварке на токопроводящей подкладке

Категории соединения	Соотношение толщин свариваемых деталей при расположении электродов, не более, со сторон	
	тонкой	толстой
I	2	1,5
II	3	2
III	4	2

Для сплавов титана могут быть допущены большие отношения толщин деталей.

Заготовки свариваемых деталей при контактной стыковой сварке должны иметь по длине припуск на оплавление и осадку 12—40 мм на стык в зависимости от сечения, при этом припуски обеих деталей должны быть одинаковыми по форме и размерам поперечных свариваемых деталей.

Типы сварных соединений и требования к конструктивным

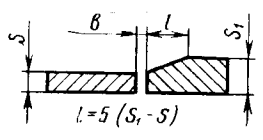
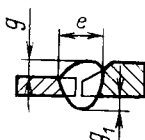
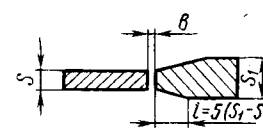
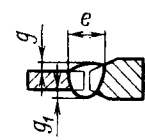
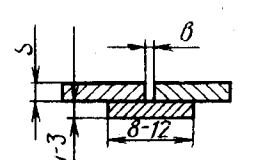
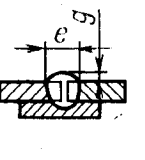
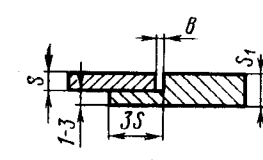
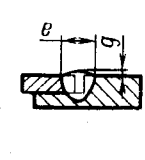
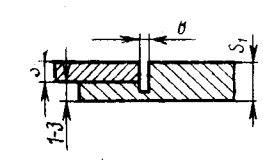
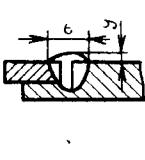
Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
C00010			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали $r = S(1 \div 1,5)$	До 0,1
C01010				Св. 0,1 до 0,5
C00013				Св. 0,5 до 1,0
Y00010			Титановые сплавы $r = S(1 \div 1,5)$	До 0,5
			Алюминиевые сплавы $r = 2,0 \div 4,0$ (не рекомендуется применять при сварке сплавов с $\sigma_s > 2,5$ кгс/мм ² : АМг5, АМг6 и др.)	Св. 0,5 до 1,0
C00020			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	До 0,1
C00022				Св. 0,1 до 0,5
C02022				Св. 0,5 до 1,0

элементам подготовленных кромок и сварных швов

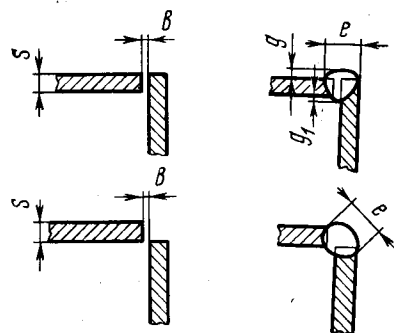
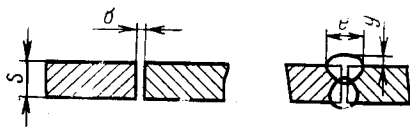
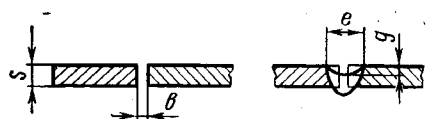
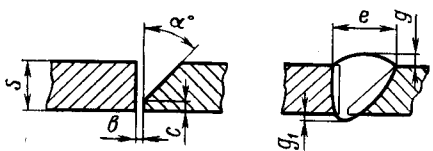
Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
5200 5500	0+0,1	(4-6) S	—	—	1,0-2,0	0,02-0,1	0-0,1	
5200 5500 1520.АИ }	0+0,1	(4-6) S	—	—	1,0-2,2	0,02-0,1	0-0,1	
5200 5500 1520.АО 1520.ПО 3110 }	— 0+0,1 0+0,2 0+0,3 0+0,5	(2,5-4) S	—	—	2,0-4,0 3,0-5,0	0,1-0,3 0,1-0,5	0,1-0,5 —	
5500 1520.АО 1520.ПО 1100 3110 }	0+0,1 0+0,2 0+0,3 0+1,0 0+0,5	(2-3) S	—	—	3,5-6,0 2,0-5,0 3,5-6,5	0,1-0,4 0,2-1,5 0,2-1,5	0,3-0,8 0,2-1,5 0,1-1,5	
5200 5500 1520.АО 1520.ПК }	0+0,1 0+0,2	(4-6) S	—	—	1,0-2,2 2,0-4,0	0,02-0,1 0,02-0,1	0-0,1 0,1-0,3	
5200 5500 1520.АО 1520.ПК }	0+0,1 0+0,2	(2,5-4) S	—	—	2,0-6,0	0,03-0,2	0-0,3	
5200 1620.АО 1620.ПО 3110 }	0+0,1 0+0,5	(2-3) S	—	—	4,0-10,0 4,8-10,0	0,2-1,5 0,5-1,5	0,5-1,8 0,5-2,5	
5200 5500	0+0,1	(1,2-1,6) S	—	—	1,0-2,0	0,02-0,1	0-0,1	
5200 5500 1520.АИ }	0+0,1 0+0,1	(1,2-1,6) S (1,2-1,6) S	—	—	1,0-2,2	0,02-0,1	0-0,1	
5200 5500 1520.АО 1520.ПО 3110 }	0+0,1 0+0,1 0+0,2 0+0,5	(1,2-1,5) S	—	—	2,0-4,0 3,0-5,0	0,1-0,3 0,1-0,3	0,1-0,5 —	

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
C00310			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 1,0 до 2,0
C02310				
C00030				
C00032			Титановые сплавы	Св. 0,5 до 1,0
C00003				
C02020				
C00330			Алюминиевые сплавы (Соединение C00310 не рекомендуется)	Св. 0,8 до 2,0
C00000				
C00000			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	До 0,5
C00000				
C00000				Св. 0,5 до 1,0

Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
5500 1520.AO 1520.PO 1100 3110	0+0,1 0+0,2 0+0,3 0+1,0 0+0,5	(1,2—1,5) S	—	—	3,0—6,0 3,5—6,0 2,0—5,0 3,5—6,5	0,05—0,4 0,1—0,4 0,2—1,5 0,2—0,5	0,1—0,5 0,2—0,8 0,2—1,5 0,1—0,5	
5200 5500	0+0,1	(1,2—1,5) S	—	—	— 1,0—2,2	— 0,02—0,1	— 0,02—0,1	
5200 5500 1520.AO 1520.AИ 1520.PK	0+0,1 0+0,2	(1,2—1,5) S	—	—	— 2,0—6,0	— 0,03—0,2	— 0,04—0,3	
5500 1520.AO 1520.AИ	0+0,1 0+0,2	(1,2—1,5) S	—	—	3,0—6,0 4,0—10,0	0,05—0,6 0—0,3	0,2—0,6 0,2—0,3	
5200 1620.AO 1620.PO 3110	0+0,2 0+0,5	(1,2—1,5) S	—	—	— 3,0—10,0 4,0—10,0 4,0—10,0	— 0,2—1,5 0,4—1,5 0,5—1,5	— 0,4—1,8 0,5—1,8 0,5—2,5	
5500 1520.AO	0+0,1				1,8—3,5	0—0,4	0—0,4	
5500 1520.AO 1520.PO					2,2—4,5	0—0,5	0—0,5	

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
C00050			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 1,0 до 2,0
				Св. 2,0 до 3,0
				Св. 0,1 до 5,0
C00710			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 5,0 до 40,0
				Св. 3,0 до 5,0
				Св. 5,0 до 10,0
				Св. 10,0 до 16,0
				Св. 20,0
C00002			Титановые сплавы	Св. 0,5 до 1,0
C00110				Св. 1,0 до 2,0
				Св. 2,0 до 3,5
				Св. 3,0 до 5,0
				Св. 5,0 до 10,0
C00200				Св. 10,0 до 16,0
				Св. 10,0 до 20,0
				Св. 0,1 до 5,0

Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
5500 1020.АО } 1030.АО } 1520.ПО 1100 3110	0+0,2 0+0,3 0,5+1,0 0+0,5				2,2—4,5 2,5—6,5 4,0—6,5 4,0—6,5	0—0,5 0—1,5 0—1,5 0,2—1,0	0—0,5 0—1,0 0—1,0 0—1,5	
5200 1020.АО } 1230.АО } 1520.ПО }	0+0,3				— 3,5—8,0	— 0—1,5	— 0—1,0	
1050 1100	0+2,0 0,5+1,0				7,0—14,0 5,5—7,5	0,5—1,5 0,5—1,5	0—1,5 0—1,0	
5200	0+0,1 0+0,2				—	—	—	
1050 1570.АО	0+2,0 0+0,3				8,0—15,0 4,0—8,0	0,7—2,0 0—0,8	0,7—2,0 0—1,0	
1050 5500	0+2,0 0+0,2				10,0—15,0 10,0—15,0	0,5—2,5 0,5—2,5	1,5—2,5 1,5—2,5	
1520.АП 4000	0+0,5 6±2,0				12,0—16,0 —	0,5—1,5 —	1,0—1,5 —	
5500 1520.АО 1520.ПК 1220.АО	0+0,1 0+0,2 0+0,3 0+0,5 0+0,5				2,0—6,0 6,0—10,0 10,0—16,0 8,0—10,0 14,0—20,0 14,0—20,0	0—0,6 0—0,8 0—1,2 1,0—4,0 2,0—5,0 0,5—3,0	0—0,4 0—0,5 0—0,6 1,0—3,5 2,0—4,5 2,0—4,0	
5500, 1050 1520.АП }	0+0,3				—	—	—	
5200	0+0,1 0+0,2				—	—	—	

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
У00000		Алюминиевые сплавы (Соединение С00110 применять не рекомендуется)	Св. 0,8 до 3,0	
			Св. 3,0 до 8,0	
			Св. 6,0 до 20,0	
			Св. 0,1 до 5,0	
			Св. 5,0 до 60,0	
С00001		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 3,0 до 6,0	
			Св. 6,0 до 10,0	
		Титановые сплавы	Св. 3,0 до 6,0	
			Алюминиевые сплавы	Св. 20,0 до 30,0
		С00000		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали
Св. 1,0 до 2,0				
Св. 2,0 до 3,0				
Титановые сплавы	Св. 0,5 до 1,0			
	Св. 1,0 до 2,0			
С00050		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 2,0 до 3,0	
			Св. 2,5 до 6,0	

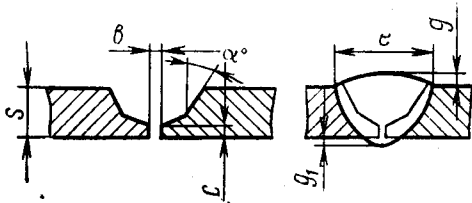
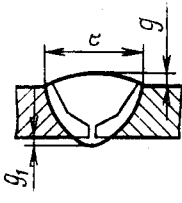
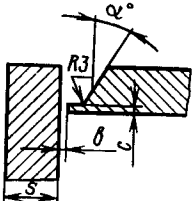
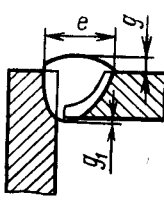
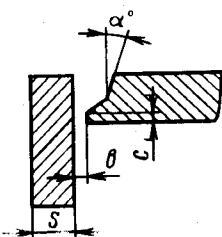
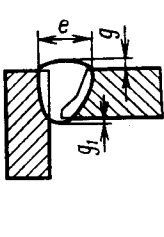
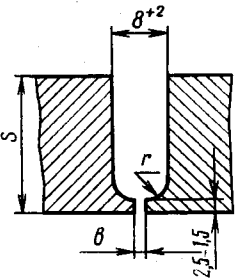
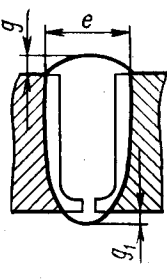
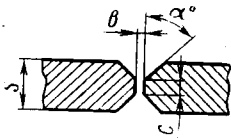
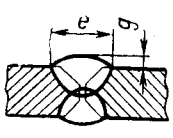
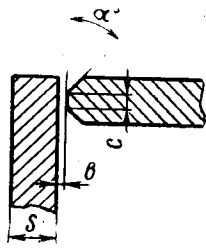
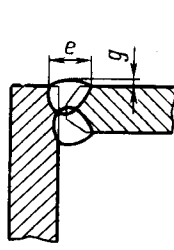
Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
1620.АО } 1620.ПО } 3110	0+0,5 0,8+1,2				5,0—10,0 6,0—12,0 3,5—10,0	0,6—1,8 0,8—2,0 0,5—2,0	1,0—2,0 1,2—2,0 0,5—2,0	
1020.АО 1020.ПО	0+2,0				5,0—12,0	0,6—1,8	1,0—2,0	
1520.АТ 1520.АП	0+2,0				8,0—18,0 22,0—26,0	1,2—2,5 1,2—2,5	1,5—3,0 1,5—3,0	
5200	0+0,1 0+0,2				—	—	—	
1020.АО 1020.ПО	0+0,3 0+0,5				4,0—8,0	0—0,8		
1050	0+2,0				7,0—14,0	0,5—1,5		
1020.АО 1620.РК	0+0,3 0+0,5				13,0—16,0	0,8—1,2		
1520.АП	0+1,0				14,0—20,0	0,5—3,0		
1520.АП	0+2,0				22,0—26,0	1,2—2,5		
1520.АИ	0+0,1 0+0,2				1,5—4,0 2,5—6,0	0,03—0,15 0,15—0,4	0—0,2 0,2—0,8	
1520.АО	0+0,3				3,5—8,0	0,1—0,4	0,2—0,8	
	0+0,1				2,5—7,0	0—0,1	0—0,2	
1520.АО	0+0,2				4,0—11,0	0—0,3	0—0,3	
	0+0,3				6,0—12,0	0—0,4	0—0,4	
1620.ПО } 1020.АО }	0,5+1,0 0+1,0	— —	35—45 25—35	1,0—1,5	Ширина разделки B_{+5}^{+2}	0—1,5	0—1,5	
1100	0+4,0		35—45	0,5—3,0		1,0—3,0	—	
1050	0+0,5		25—30	1,5—2,0		0,2—2,0	0,2—2,0	

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
C00052			<p>Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы</p>	Св. 6,0 до 12,0
C00160				Св. 12,0 до 25,0
C05050				Св. 3,0 до 6,0
C05052			Титановые сплавы	Св. 6,0 до 12,0
У00050				Св. 3,0 до 5,0
У05050			Алюминиевые сплавы	Св. 5,0 до 10,0

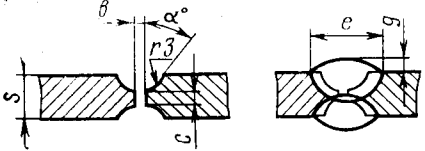
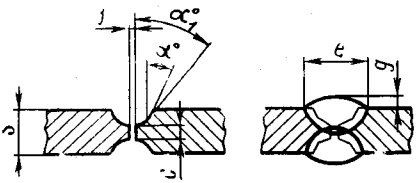
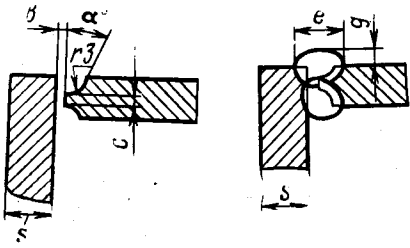
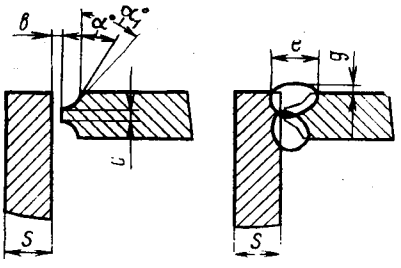
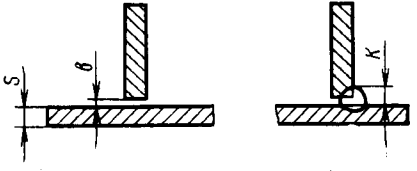
Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
1020.AO } 1620.PO }	10+1,0		25—35	1,5—2,0	B ⁺² ₊₅	0—2,0	0—2,0	
1100	0+4,0		35—45	0,5—3,0		1,0—4,0	—	
1050	0+2,0		30	1,5—2,0		2,0—2,5	—	
1100	0+4,0		35—45	0,5—3,0	B ⁺² ₊₅	1,0—4,0	—	
1050	0+2,0		30	1,5—2,0		2,5—3,0	—	
1620.AO } 1220.AO } 1620.OK }	0+1,0		25—35	1,0—1,5	B ⁺² ₊₅	0,5—2,0	0—1,5	
1620.AO	0+2,0		25—35	1,5—2,0	B ⁺² ₊₅	0,5—2,5	0—2,0	
3110	0+3,0		30—32,5	1,5—1,8	B ⁺² ₊₅	0,8—2,0	—	
3110	0+2,0		25—30	1,6—2,0	B ⁺² ₊₅	0,9—3,0	—	
1620	0+1,0		30	1,0+1,5		1,0—2,0	1,5—2,5	

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
			Алюминиевые сплавы	Св. 10,0 до 30,0 Св. 30,0
C00060				Св. 4,0 до 10,0
C00070				
C06060			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 10,0 до 25,0
C06062				Св. 25,0 до 50,0
C06210				
			Титановые сплавы	Св. 3,0 до 5,0

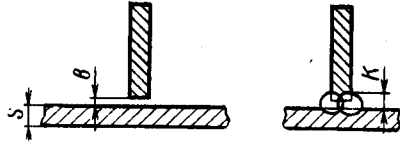
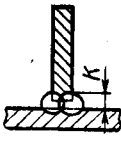
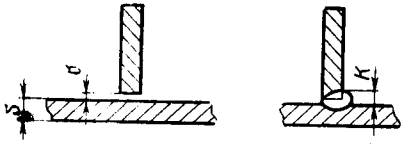
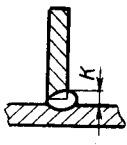
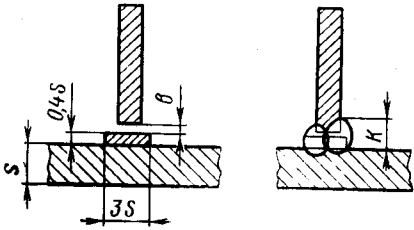
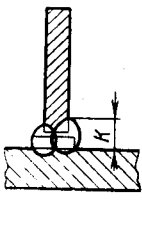
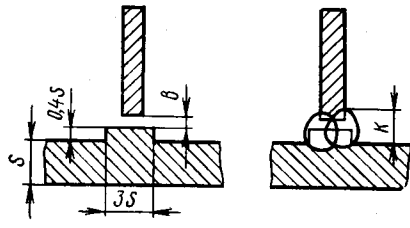
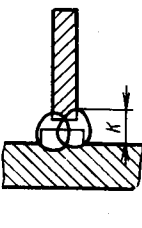
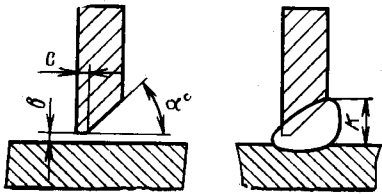
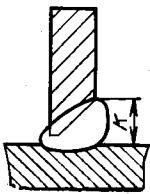
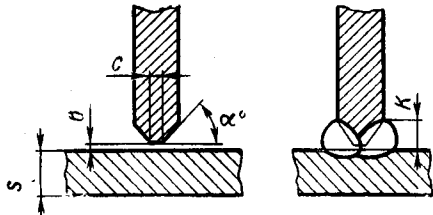
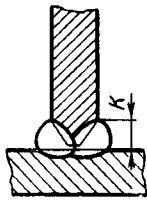
Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
1020 1620.ОТ	0+1,5		35,0	2,0—3,0	B_{+5}^{+2}	1,2—2,5	3,0—4,0	
1020 1620.ОТ	0+2,0		37,5	3,0—4,0		1,0—2,0	3,0—4,0	
1620 1220 1230 1050	0+2,0		10—15	1,5—2,0	B_{+5}^{+2}	0—2,0	0—2,0	
	—	—	25—30	0,8—1,0		1,0—2,5	—	
1620 1220 1230 1050	0+3,0	—	10—15	1,5—2,5	B_{+5}^{+2}	2,0—5,0	0—2,0	
	0+0,2	—	25—30	0,8—1,0		1,5—3,0	—	
1050 1100	$\begin{matrix} 4+1 \\ \text{(на подкл.)} \end{matrix}$ 0+4,0	—	15	2,0—3,0	B_{+5}^{+2}	1,0—3,0	—	
1620.АО 1620.ОК	0+0,5		15	1,0—1,5	B_{+5}^{+2}	0,5—2,0	0—1,5	

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
C07070			Титановые сплавы	Св. 5,0
Y00060				
Y00070			Алюминиевые сплавы	Св. 30,0 до 40,0
				Св. 40,0 до 60,0
C13130			Теплостойкие и нержавеющей стали	Св. 10,0 до 40 ($r = 4,0$ мм)
C71711			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 6,0 до 25,0
C00711			Титановые сплавы	Св. 6,0 до 25,0
			Алюминиевые сплавы	Св. 30,0

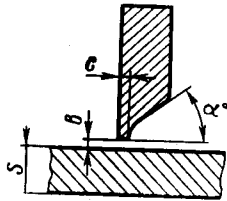
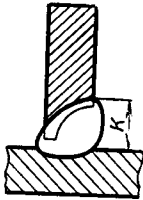
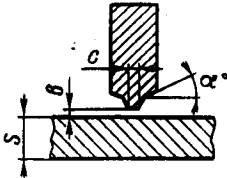
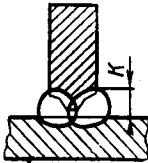
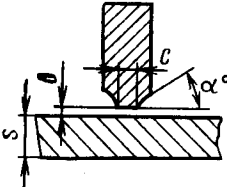
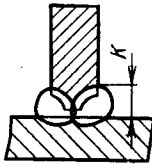
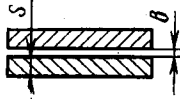
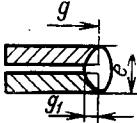
Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
1620.АО 1620.ОК 1050	0+1,0		15	1,5—2,0	B_{+5}^{+2}	0,5—2,0	0—2,0	
1620.ОТ 1620 1220	0+1,0		15	2,0—3,0	B_{+5}^{+2}	1,0—2,5 1,2—3,0	1,5—3,0 2,0—4,0	
1620.ОТ 1620 1220	0+2,0		15	3,0—5,0		2,0—3,0	3,0—4,0	
1620.АУ	0+0,5		—	2,0—2,5	12,0—16,0	—	—	
1020 1230 1100 1050	0+2,0 0+4,0		25—35 35—45 40—55 (угл. соедин.)	1,5—2,0 2,0—3,0	B_{+5}^{+2}	2,0—5,0 1,0—4,0	0—2,0 —	
1620.АО 1620.ОК	0+2,0		35—25	1,5—2,0	B_{+5}^{+2}	0,5—7,0	0—5,0	
1620 1220	0+2,0 0+3,0		35 50—60 (угл. соедин.)	3,0—5,0 3,0—5,0		1,2—3,0	1,2—3,0	

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
C72721			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 12,0
C73731				
У00721			Алюминиевые сплавы	Св. 30,0
У00731				
T00004			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 1,0 до 3,0
				Св. 3,0 до 30

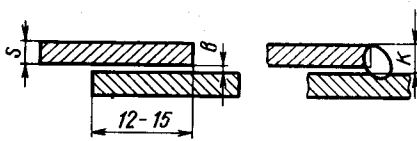
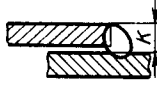
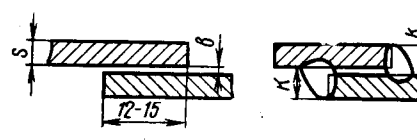

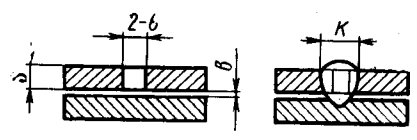
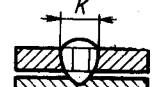
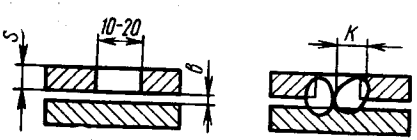

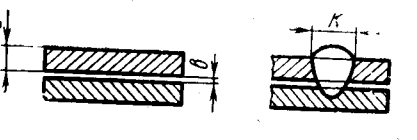
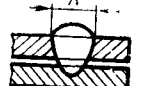
Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
1100 1020 1050	0+4,0	—	10—15	1,0—3,0	B_{+5}^{+2}	1,0—3,0	1,0—4,0	
1620 1220 1620.OT	0+2,0		15	2,0—4,0	B_{+5}^{+2}	0,8—3,0	0,8—3,0	
1020 1230 1100 3110	0+3,0 0+1,0 0+0,5							2,5—4,0 3,0—7,0 4,0—6,5
1020 1230 1100 1050	0+3,0							$1,2 S_{-0,5}^{+1,5}$ min

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
T00005			Титановые сплавы	Св. 1,0 до 3,0
			Алюминиевые сплавы	До 10 Св. 10 до 20
T00000			Низколегированные и нержавеющие стали	Св. 0,8 до 2,0
T00007			Титановые сплавы	Св. 2,0 до 5,0
T00621				
T00050			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 3,0 до 5,0 Св. 5,0 до 10,0
			Титановые сплавы	Св. 3,0 до 5,0 Св. 5,0 до 10,0
T00711			Алюминиевые сплавы	Св. 5,0 до 10,0 Св. 10,0 до 30,0

Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
1020.АО 1620.ОК	0+0,3 0+1,0							2,0—6,0 4,0—10,0
1020	0+1,0 0+2,0							4,0—10,0 8,0—14,0
1520.АО	0+0,1							$1,2 S_{\min}^{+1}_{-0,5}$
	0+0,2							
1020, 1230	0+0,5		45—55	1,0—2,0				B^{+2}_{-5}
1100 1050	0+1,0							
1620.АО	0+0,5		45—55	1,0—2,0				
1620.ОК	0+1,0							
1020	0+1,0		50	1,0—3,0				
	0+2,0		60	2,0—4,0				

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
T00060			Алюминиевые сплавы	Св. 16 до 30
T00721				
T00731				
Ц00000			Конструкционные, нержавеющие, жаропрочные стали и титановые сплавы	Св. 0,1 до 1,0 Св. 1,0 до 2,0 Св. 2,0 до 3,0
			Алюминиевые сплавы	Св. 1,0 до 3

Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	b , мм	A , мм	α , град	c , мм	e , мм	g , мм	g_1 , мм	k
1020 1620.OT	0+2,0							$B+2$ $+5$
1620 1020	0+0,1 0+0,2 0+0,3				2S+0,5 2S+1,0 2S+2,0			
1620	0+0,5				2S+2,0			

Условное обозначение шва сварного соединения	Конструктивные элементы		Свариваемый материал	Толщина свариваемого материала, мм
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		
Н00000			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 0,5 до 1,5
				Св. 1,5 до 2,5
				Св. 2,5
				Св. 0,2 до 10
Н00001			Титановые сплавы	Св. 0,5 до 1,5
				Св. 2,0
				Св. 0,2 до 10
Н00550			Алюминиевые сплавы	Св. 2,0 до 6,0
			Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 6,0 до 10,0
Н00570				Св. 10,0
			Алюминиевые сплавы	Св. 2,0 до 6,0
				Св. 6,0
Н00007			Стали Титановые сплавы	Св. 0,5 до 1,5
			Все стали и сплавы	Св. 0,2 до 10,0

Примечания: 1. Для соединений с подкладкой зазоры могут быть увеличены на 20 %.

2. При сварке под флюсом (1050) ширина подкладки 15—20 мм, толщина 3—4 мм.

Способ сварки, код	Размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и шва сварного соединения							
	<i>b</i> , мм	<i>A</i> , мм	α , град	<i>c</i> , мм	<i>e</i> , мм	<i>g</i> , мм	<i>g</i> ₁ , мм	<i>k</i>
1620	—	—	—	—	—	0—1,0	—	2,0—5,5
1100	—	—	—	—	—	1,0—2,0	—	2,5—6,0
3110	—	—	—	—	—	0—1,0	—	3,0—7,0
1620, 1230	—	—	—	—	—	0—1,0	—	2,5—7,0
1100	—	—	—	—	—	1,5—3,5	—	4,0—7,5
1620, 1230	—	—	—	—	—	0—1,0	—	3,0—5,0
1100	—	—	—	—	—	2,5—5,0	—	5,0—12,0
5200	—	—	—	—	—	—	—	—
1620.АО 1620.ОК	0+0,1	—	—	—	—	—	—	2,0—3,5
1620.АО 1620.ОК	0+0,2	—	—	—	—	—	—	2,0—10,0
5200	—	—	—	—	—	—	—	—
5200 1620	0+1,0	—	—	—	—	—	—	5,0—21,0
1020 1230	0+1,0	—	—	—	—	—	—	2,0—6,0
1620 1220	0+2,0	—	—	—	—	—	—	6,0—10,0
1620 1220	0+3,0	—	—	—	—	—	—	10,0—12,0
1620	0+1,0	—	—	—	—	—	—	2,0—6,0
1220	0+2,0	—	—	—	—	—	—	6,0—10,0
1520.ОП	0+0,2	—	—	—	—	—	—	2,0—5,5
5200	—	—	—	—	—	—	—	2,0—5,5

Сварка деталей из титановых сплавов выполняется под защитой аргона, поэтому конструкция таких деталей должна допускать свободный подход газа со всех сторон по периметру сечения стыка.

Требования к соединениям, выполняемым сваркой плавлением

При конструировании деталей и узлов, соединяемых сваркой плавлением, необходимо учитывать технологические требования к геометрии и размерам свариваемых кромок деталей, а также зазоры между ними.

Эти требования указаны в табл. XIV.5.22.

Требования к клеесварным конструкциям

Клеесварные конструкции — это комбинация сварных соединений из металлических материалов и клеевых композиций. Клеесварные конструкции выполняются методами контактной (точечной и шовной) сварки и сварки плавлением из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов и сталей.

Применение клеесварных конструкций обеспечивает повышение статической, повторно-статической, усталостной и акустической прочности.

В клеесварных конструкциях, выполненных методами контактной сварки, можно применять клеи марок: ВК-1, ВК-1МС, ВК-9, К-4С, КЛН-1, ВК-37 и ВК-39. В клеесварных конструкциях, выполненных методами сварки плавлением, рекомендуются клеи: ВК-1МС, К-4С, ВК-37, ВК-32-200 и ФРАМ-30.

Антикоррозионная защита внешней поверхности клеесварных соединений производится лакокрасочными покрытиями.

Система лакокрасочных покрытий выбирается в соответствии с рекомендациями ВИАМ.

В изделиях рекомендуется за счет различных мероприятий (дренаж, изоляция туалетов, продувка и сушка, герметизация отсеков и т. д.) исключить прямой контакт воды и других коррозионно-активных сред с клеесварными соединениями.

Клеесварные соединения могут длительно эксплуатироваться при следующих интервалах температур:

с клеями ВК-1МС, К-4С, КЛН-1, ВК-39 — от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$;

с клеями ФРАМ-30 — от -60 до $+120^{\circ}\text{C}$;

с клеем ВК-32-200, ВК-1, ВК-9 и ВК-37 — от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$ и кратковременно до $+200^{\circ}\text{C}$.

При изготовлении конструкций контактной сваркой нанесение клеев можно проводить как до, так и после сварки узла (панели). Выбор способа нанесения клея на внутренние поверхности нахлестки определяется физико-химическими свойствами клеев, размерами нахлестки, зазорами в сварных соединениях и специфическими условиями производства.

Клеи К-4С и КЛН-1 рекомендуется наносить после сварки; клеи ВК-1, ВК-1МС, ВК-39 можно наносить до сварки или после нее; клеи ВК-9 и ВК-37 наносить только до сварки.

Нанесение клея после сварки целесообразно при изготовлении крупногабаритных узлов и панелей, представляющих собой обшивку с набором различных жесткостей (стрингеры или шпангоуты), соединяемых точечной сваркой. До сварки клей рекомендуется наносить при изготовлении узлов с многорядными швами, при усилении обшивки накладками или штампованными деталями с замкнутой полостью, а также при окантовке вырезов в обшивке.

Соединения, выполненные по способам нанесения клея до и после сварки, имеют одинаковую статическую, повторно-статическую усталостную и акустическую прочность; коррозионная стойкость их также аналогична.

Для обеспечения гарантированного заполнения нахлестки клеем после сварки необходимо строго соблюдать ограничения по геометрическим размерам нахлестки для каждого из применяемых клеев, приведенные в табл. XIV.5.23.

Таблица XIV.5.23
Размеры нахлестки

Зазоры в нахлестке, N	Максимально допустимая нахлестка при использовании клея			
	ВК-1МС	К-4С	КЛН-1	ВК-39
$0,03 \leq N \leq 0,05$	15	15	Введение клея не допускается	22
$0,06 \leq N \leq 0,09$	22	22	15	36
$0,1 \leq N \leq 0,15$	36	36	18	50

Для повышения коррозионной стойкости сварных соединений, выполненных контактной сваркой, рекомендуется применять грунты и пасты. Прочностные свойства соединений при этом не меняются.

Для конструкций из алюминиевых и магниевых сплавов рекомендуется применять грунты КФ-030 (АЛГ-1), ГФ-031 (АЛГ-7), ГФ-0114 (АЛГ-12), ФЛ-086 (АЛГ-14) и пасту АЛКМ-1.

Для стальных конструкций помимо вышеперечисленных грунтов возможно применение пасты КСП-1.

Руководство по конструированию основных элементов сварных деталей и узлов

При проектировании сварных конструкций следует учитывать не только характеристики надежности и работоспособности сварных соединений, но и их экономические характеристики, которые в значительной степени определяют выбор способа сварки и вида сварного соединения в зависимости от сложности и ответственности изделия.

Выбор способа сварки

Способ сварки следует выбирать в зависимости от — условий технологической свариваемости материалов, руководствуясь табл. XIV.5.24; XIV.5.25;

— сложности конструкции, толщины материала и типа соединения, приведенных в табл. XIV.5.26 для сварки плавлением и в табл. XIV.5.16—XIV.5.19 для контактной сварки;

— уровня оснащённости производства необходимым сварочным оборудованием и технологической оснасткой;

— масштаба производства и других конкретных производственных условий.

Таблица XIV.5.24

**Технологическая свариваемость металлов
при сварке плавлением**

Марка материала	Характеристика свариваемости
Малоуглеродистые и марганцовистые стали: 08; 10; 10КП; 20; 20А; 25; 10Г2А; 12Г2А	Свариваются всеми методами сварки плавлением. При дуговой сварке в среде инертных газов в шве появляются поры, которые устраняются путем применения присадочной проволоки марок Св.08Г2С и Св.08Г2. При газовой сварке жестких конструкций из тонколистовых сталей возможны трещины В сочетаниях материалы указанных марок свариваются аналогично
Конструкционные низколегированные стали: 12Х2НВФА (ЭИ712); 23Х2НВФА (ЭИ659); 25ХГСА; 30ХГСА; 25ХНВФА	Свариваются всеми методами сварки плавлением. Сварные соединения склонны к образованию холодных трещин, поэтому после сварки необходимо производить термообработку для снятия остаточных напряжений с обязательным соблюдением интервала времени между окончанием сварки и термообработкой. Из стали ЭИ712 подвергаются термообработке только узлы напряженных конструкций
Конструкционные стали высокой прочности ($\sigma_b > 150$ кгс/мм ²): 30Х2ГСНВМ (ВЛ1-Д); СП28; КВК-26; КВК-32; КВК-37; КВК-42; 42Х2ГСНМА; (ВКС-1)	Свариваются дуговой сваркой в среде инертных газов. Сварные соединения склонны к образованию холодных трещин, во избежание которых следует производить термообработку, выполняя требования по разрыву времени между окончанием сварки и отпуском
30ХГСН2А (30ХГСНА); 40ХН2СВА (ЭИ643); 30Х2ГСН2ВМ (ВЛ1)	Свариваются дуговой сваркой, дуговой сваркой под флюсом, в среде инертных газов, электронно-лучевой и атомноводородной сваркой. Для предупреждения образования трещин рекомендуется изделие подогревать до 200—300 °С, а после сварки термообработать при 600—650 °С. Сварка тонких листов (до 4 мм) не рекомендуется из-за возникновения холодных трещин. Закаленные элементы свариваются аустенитными электродами, прочность шва при этом значительно снижается

Продолжение табл. XIV.5.24

Марка материала	Характеристика свариваемости
Нержавеющие стали: 12Х18Н10Т (Х18Н10Т, Я1Т); 15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654); 12Х21Н5Т (ЭИ811); 12Х17Г9АН4 (ЭИ878); 12Х21Н5Т (ЭИ811)	Свариваются всеми методами сварки плавлением. При газовой сварке стали имеют пониженную прочность сварных соединений и стойкость к межкристаллитной коррозии; при дуговой сварке в углекислом газе — пониженную стойкость к межкристаллитной коррозии
1Х12Н2ВМФ (ЭИ961); 11Х11Н2В2МФ (ЭИ962); 14Х17Н2 (ЭИ268); 16Х11Н2В2МФ (ЭИ962А); ХН28ВМАБ; (Х21Н28В5МЗБАР, ЭП126)	Свариваются дуговой сваркой, дуговой в среде защитных газов и под слоем флюса. Имеют склонность к образованию холодных трещин. После сварки необходима термическая обработка для снятия напряжений и нормализации структуры
Нержавеющие теплоустойчивые стали: 07Х16Н6 (СН2А, ЭП288); 09Х15Н8Ю (СН2, ЭИ904); 08Х17Н5МЗ (СН3, ЭИ925); 08Х15Н7ЮМ2 (СН4, ЭП35); 1Х15Н4АМЗ (ВНС-5, ЭП310); Х20Н6МД2Т (ВНС-4, ЭП309); Х15Н5Д2Т (ВНС-2, ЭП410, ЭП410У); 06Х14Н6Д2МБТ (ЭП817)	Свариваются сваркой дуговой, дуговой в среде инертных газов, электронно-лучевой и электрошлаковой. Расплавленный металл склонен к окислению, поэтому обратную сторону шва необходимо защищать подкладками, поддувом инертного газа или флюсом
Титановые сплавы: Технические и малолегированные ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4-0, ОТ4, ОТ4-1, ОТ4-2, ПТ7М, ВТ5, ВТ5-1 Термически упрочняемые ВТ4, ВТ6, ВТ6С, ВТ14, ВТ15, ВТ20, ВТ22. Литейные ВТ5Л, ВТ20Л, ВТ14Л, ВТ6Л, ВТ9Л	Свариваются сваркой дуговой в среде инертных газов, дуговой под слоем флюса, электронно-лучевой и электрошлаковой. Механические свойства сварных соединений высокие и мало отличаются от свойств основного материала. Для снятия напряжений после сварки и повышения пластичности швов рекомендуется производить отжиг. При сварке необходима защита обратной стороны шва. Сварка конструкций, для которых защита обратной стороны шва невозможна, производится в камерах с контролируемой атмосферой
Алюминий и его сплавы АД, АД1, АМц	Свариваются дуговой сваркой в среде инертных газов, атомноводородной и газовой сваркой. Сварные соединения обладают высокой пластичностью, герметичностью и коррозионной стойкостью
АМг1, АМг2	Свариваются дуговой сваркой в среде инертных газов, атомноводородной и газовой сваркой. Сплавы склонны к образованию кристаллизационных трещин при сварке. Коррозионная стойкость высокая
АМг3, АМг4, АМг5, АМг6	Свариваются дуговой сваркой в среде инертных газов и электронно-лучевой сваркой в любом состоянии поставки. При газовой сварке нарушается герметичность материала в околошовной зоне из-за оплавления легкоплавких составляющих сплавов (кроме сплава АМг3)

Продолжение табл. XIV.5.24

Марка материала	Характеристика свариваемости
Д20, 1201, АД31, АД33, АВ, 1915	Коррозионная стойкость и герметичность сварных соединений снижается с увеличением содержания магния Свариваются дуговой сваркой в среде инертных газов. Коррозионная стойкость сварных соединений сплавов Д20, 1201, 1915 — удовлетворительная, сплавов АД31, АД33 и АВ — высокая. В закаленном состоянии сплавы склонны к образованию кристаллизационных трещин
Магниево-алюминиевые сплавы МА2-1, МА1, МА8, ВМДЗ	Свариваются дуговой сваркой в среде инертных газов и газовой сваркой. В жестких конструкциях сварные соединения склонны к образованию трещин. Прочность сварных соединений составляет 70% от прочности основного материала
Разноименные алюминиевые сплавы АД1+АМц; АД(АД1)+АМг2; АД(АД1)+АМг3; АД1+АМг6; АД1+1915; АМг3+АМг5; АМг3+АМг6; АМг3+АЛ9; АМц+АМг1; АМц+АМг2; АМц+АМг3; АМц+АМг6; АМц+АЛ9; АМц+ВАЛ5; АМц+АЛ19; АМг6+АЛ9; АМг6+ВАЛ5	Свариваются дуговой сваркой в среде инертных газов. При работе соединений в агрессивной среде необходимо согласование с ВИАМ

Таблица XIV.5.25

Технологическая свариваемость при контактной сварке

Марка материала	Характеристика свариваемости
Малоуглеродистые стали: 08; 10; 10КП	Свариваются всеми методами контактной сварки в любом состоянии поставки. Металлы шва и околошовной зоны сохраняют высокую пластичность
Малоуглеродистые и низколегированные стали: 20; 25; 10Г2А; 12Г2А; 25ХГСА; 30ХГСА; 12Х2НВФА (ЭИ712); 23Х2НВФА (ЭИ659); 25ХНФА	Свариваются в любом состоянии поставки всеми методами контактной сварки. При точечной сварке склонны к подкалке. Для устранения подкалки сварка может производиться по двухимпульсному циклу (с электро-термообработкой) или током увеличенной длительности. Если сварной узел подвергается термообработке, разрешается сварка по одноимпульсному циклу. Целесообразно применение ковочного усилия в процессе сварки

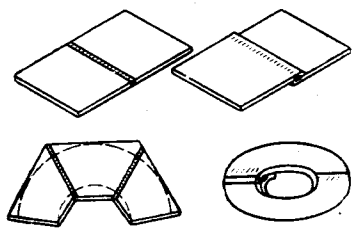
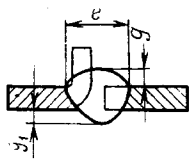
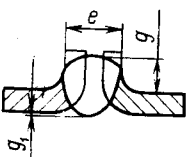
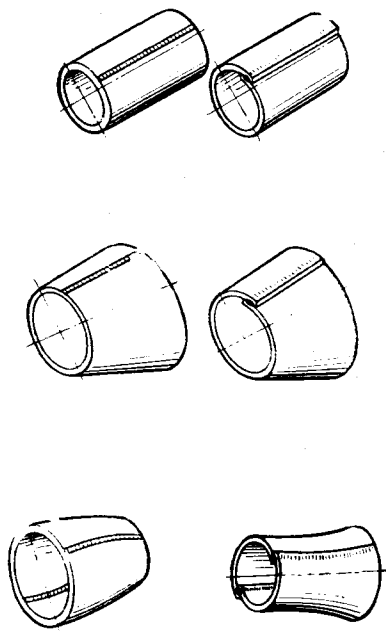
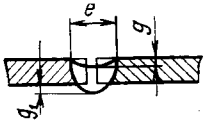
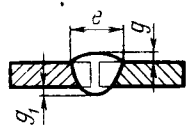
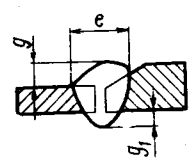
Продолжение табл. XIV.5.25

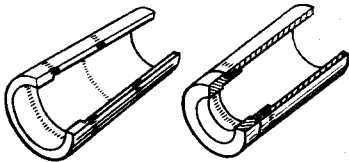
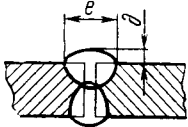
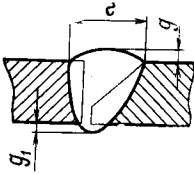
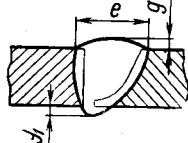
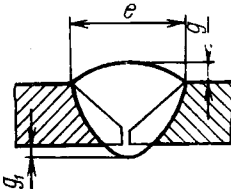
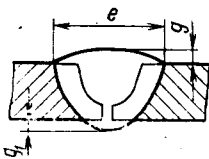
Марка материала	Характеристика свариваемости
Нержавеющие стали: 12Х18Н10Т (Х18Н10Т); 12Х21Н5Т (ЭИ811); 09Х15Н8Ю (СН2, ЭИ904); 08Х17Н5М3 (СН3, ЭИ925); 08Х15Н7ЮМ2 (СН4, ЭП35); 07Х16Н6 (СН2А, ЭП288); 1Х15Н5Д2Т (ВНС-2, ЭП410, ЭП410У); 1Х20Н6МД2Т (ВНС4, ЭП309); 1Х15Н4АМ3 (ВНС5, ЭП310); 06Х14Н6Д2МБТ (ЭП817); 12Х17Г9АН4 (ЭИ878)	Свариваются всеми методами контактной сварки в мягком и упрочняемом состоянии.
1Х13 (ЭЖ1); 2Х13 (ЭЖ2); 14Х17Н2 (ЭИ268); 11Х11Н2В2МФ (ЭИ962); 13Х14НВФРА (ЭИ736); 1Х12Н2ВМФ (ЭИ961)	Свариваются всеми методами контактной сварки. В процессе сварки наблюдается подкалка литой зоны, поэтому после сварки необходим отжиг сварных соединений. Точечную сварку целесообразно проводить по двухимпульсному циклу
Алюминиевые сплавы: АД1; АД; АД31; АД33; АМг1; АМг2; АМг3; АМг4; АМг5; АМг6	Свариваются точечной и шовной сваркой в любом состоянии поставки. Сварные соединения имеют высокую механическую прочность.
Д16; Д19; Д20; В95; ВАД-1; ВАД-23; АК4-1; 01420	Свариваются точечной и шовной сваркой в любом состоянии поставки. В упрочненном состоянии сплавы имеют склонность к образованию внутренних трещин, устраняемых применением ступенчатого графика усилия на электродах. При сварке больших толщин (свыше 3 мм) технология сварки затрудняется наличием плакирующего слоя чистого алюминия
Магниево-алюминиевые сплавы: МА1; МА8; МА11; МА2-1; ВМДЗ	Свариваются точечной и шовной сваркой. Материал склонен к образованию пор и раковин, устраняемых применением ступенчатого графика усилия на электродах
Алюминиевые сплавы: АМг3; АМг5; АМг6; Д16; В95	Свариваются контактной стыковой сваркой компактные сечения и трубопроводы сечением до 4000 мм ²
Литейные сплавы: АЛ-9; АЛ-19; МА-5	Свариваются точечной и шовной сваркой после механической обработки. Сплавы склонны к образованию пор и раковин
Титановые сплавы: ВТ1-0; ВТ1-00; ОТ4; ОТ4-1; ОТ4-2; ВТ4; ВТ5; ВТ6; ВТ6С; ВТ14; ВТ15; ВТ20; ВТ22 ВТ5-1	Свариваются всеми методами контактной сварки. При шовной сварке статическая прочность сварных соединений высокая, а циклическая прочность снижена


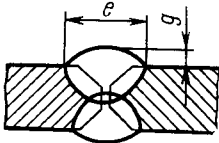
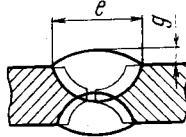
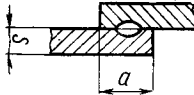
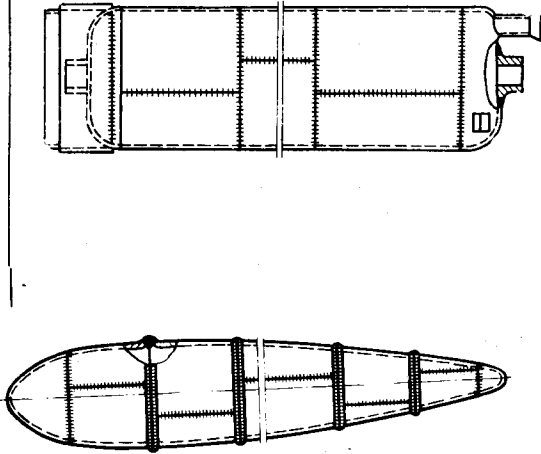
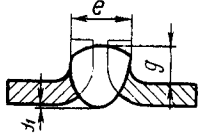
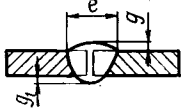
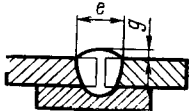
Руководство по технологичности конструкций типовых деталей и узлов

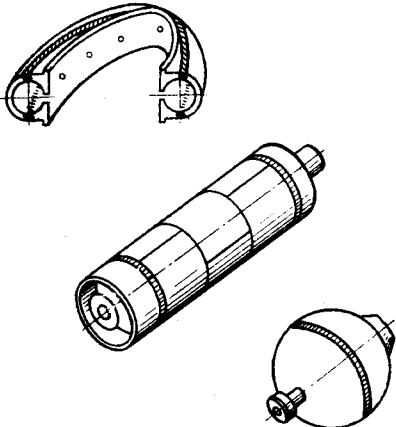
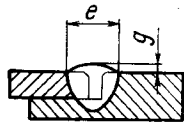
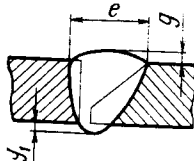
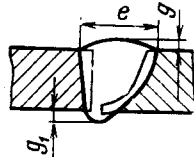
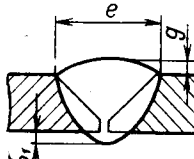
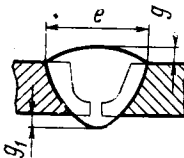
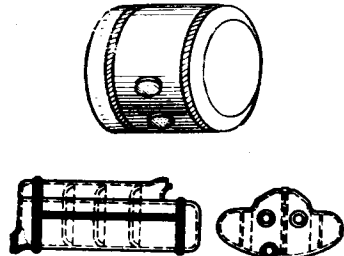
В табл. XIV.5.26 представлены типовые конструкции сварных деталей и узлов и даны рекомендации по выбору способа сварки и вида соединения в зависимости от сложности узла, применяемого материала и толщины деталей.

Рекомендации по выбору конструкции типовых сварных соединений на узлах изделий

Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				Рекомендуемые способы сварки
Наименование	Э с к и з	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	
Листовые конструкции. Автоматическая сварка: Плоские заготовки с прямолинейными швами		C00010		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 0,1 до 2,0	5200 5500 1520
		C01010		Титановые сплавы	Св. 0,2 до 1,0	5200 5500 1520
				Алюминиевые сплавы	Св. 0,1 до 2,0	5200 1520
Обечайки и конусы со швами: продольными, прямолинейными и с плавным изменением кривизны		C00000		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 0,2 до 3,0 Св. 1,0 до 10,0 Св. 3,0 до 10,0 Св. 0,2 до 10,0 Св. 0,2 до 40 Св. 30	1520 1620 1220 1230 1050 5500 5200 4000
				Титановые сплавы	Св. 0,5 до 3,0 Св. 0,5 до 16,0 Св. 0,5 до 60,0 Св. 3,0 до 10,0 Св. 3,0 до 20,0	1520 1620 5500 5200 1220 1050 1520.АП
		C00050		Алюминиевые сплавы	Св. 0,8 до 4,0 Св. 4,0 до 10,0 Св. 4,0 до 20,0	1620 1220 1620.АТ 1520.АП

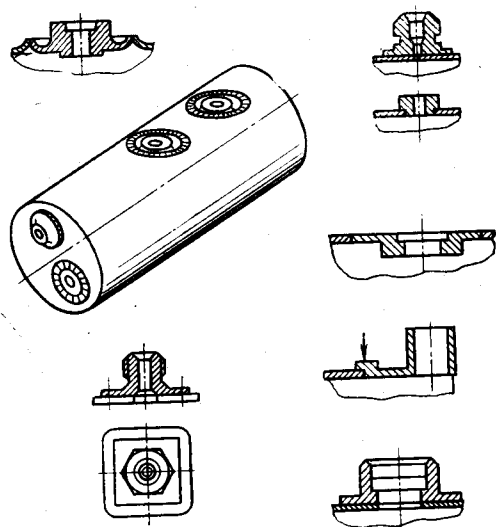
Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				Рекомендуемые способы сварки
Наименование	Э с к и з	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	
Отсеки и корпуса с кольцевыми швами		C00001		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы Титановые сплавы Алюминиевые сплавы	Св. 3,0 до 6,0 Св. 3,0 до 20,0 Св. 3,0 до 6,0 Св. 6,0 до 30,0 Св. 4,0 до 16,0 Св. 4,0 до 40,0	1520 1620 1220 1230 1050 1520 1620 1520.АП 1220 1520.АП 1620.АТ
		C00050		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы	Св. 4,0 до 25,0	1620 1220 1230 1050
		C00060				
		C05050		Титановые сплавы	Св. 6,0 до 25,0	1620 1220 1050
		C06060		Алюминиевые и магниевые сплавы	Св. 6,0	1620

Днища с кольцевыми швами		C71711		Алюминиевые и магниевые сплавы	Св. 6,0	1220
		C72721				1620.АТ
		H00006		Все стали и сплавы	Св. 0,1 до 7,0 Св. 0,1 до 4,0	2100 2200
Отсеки, емкости и корпуса: 1. С замыкающими кольцевыми швами. Автоматическая сварка		C01010		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали Алюминиевые сплавы	До 1,0 Св. 1,0 до 2,0 До 2,0	1520 1020, 1230 1620, 1520
		C00000		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали Титановые сплавы	До 3,0 Св. 3,0 до 10,0 Св. 10,0 до 3,0 Св. 3,0 до 16,0 Св. 16	1020, 5200, 5500 5200, 5500, 1050 5200, 4000 1020, 5200, 5500 5200, 5500, 1050 5200, 1050
		C00002		Алюминиевые сплавы	До 4,0 Св. 4,0 до 20,0 Св. 20,0	1020, 5200 5200, 1620.АТ 5200

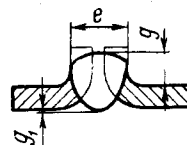
Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				Рекомендуемые способы сварки
Наименование	Э с к и з	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	
		C00110		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	До 3,0 Св. 3,0 до 10,0 Св. 10,0	5200, 1020, 1230 5200, 1050 5200
		C00050		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 4,0	1020, 1230 1050
		C00060				
		C05050		Титановые сплавы	Св. 4,0	1020 1050
		C06060		Алюминиевые сплавы	Св. 6,0	1020
2. С замыкающими криволинейными швами. Полуавтоматическая и ручная сварка		C01010 C00000 C00002		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 1,0	1020 1230 1100
		C00110		Титановые сплавы	Св. 1,0	1620.ПК
		C00050 C00060 C05050		Алюминиевые сплавы	Св. 10,0	1620 1220

Арматура на емкостях, отсеках и корпусах.

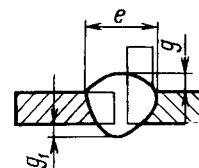
Для кольцевых швов — автоматическая сварка, для швов сложной конфигурации — ручная и полуавтоматическая



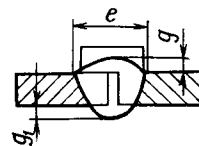
C01010



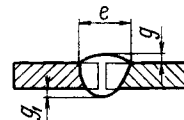
C00020



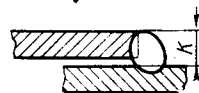
C00030



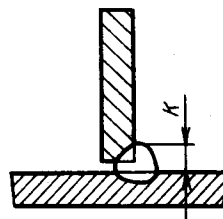
C00000



H00000



T00004



Конструкционные,
нержавеющие и жаро-
прочные стали

До 2,0

1020
1230, 1100

Св. 0,5 до 10,0

5500, 1050

Титановые сплавы

До 3,0

1020

1620AK
1620.PK

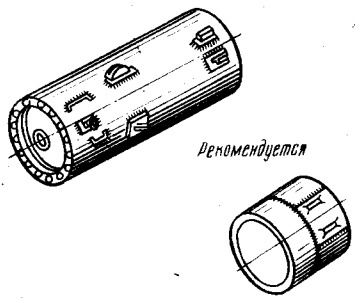
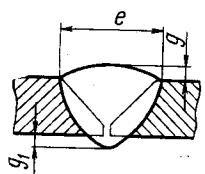
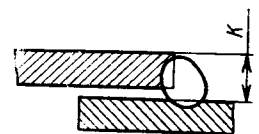
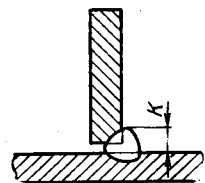

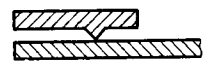
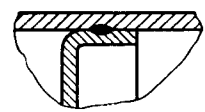
Св. 0,5 до 16,0

5500

Алюминиевые спла-
вы

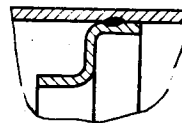
До 3,0

1020

Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				
Наименование	Э с к и з	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	Рекомендуемые способы сварки
		C05050		Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 3,0	1020, 1230 1100
		H00000		Титановые сплавы	Св. 3,0	1020 1620.РК
		T00004		Алюминиевые сплавы	Св. 3,0	1020
		H00006		Все стали и сплавы	До 3,0	2100 2200
		H00586		Конструкционные, нержавеющие, жаропрочные стали и титановые сплавы	До 3,0 ($\varnothing \leq 25$ мм)	2300
Отсеки, корпус, емкости с ребрами жесткости, диафрагмами и другими элементами		H00016		Все стали и сплавы	До 7,0	2100

Отсеки, корпус, емкости с ребрами жесткости, диафрагмами и другими элементами

H00016



Все стали и сплавы

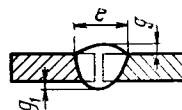
До 4,0

2200

Узлы шасси:

1. С кольцевыми швами — автоматическая сварка

C00000



Конструкционные высокопрочные стали

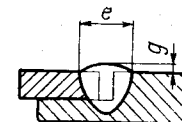
Св. 2,0 до 4,0

1020, 5200

Св. 4,0 до 40,0

5200

C00110



Титановые сплавы

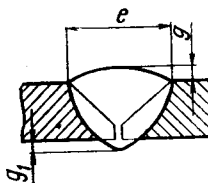
Св. 2,0 до 4,0

1020, 5200

Св. 4,0 до 60,0

5200

C05050

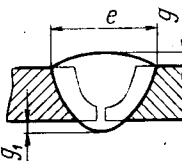


Конструкционные высокопрочные стали

Св. 4,0

1520, 1620
1050

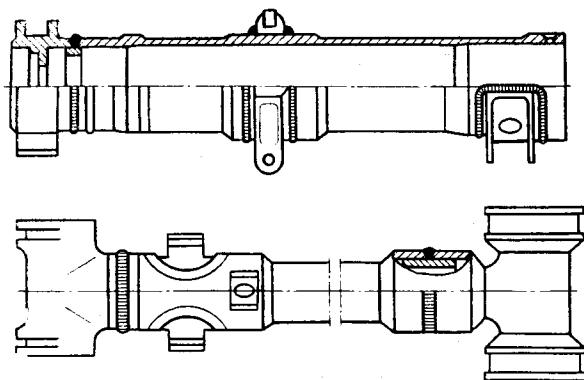
C06060

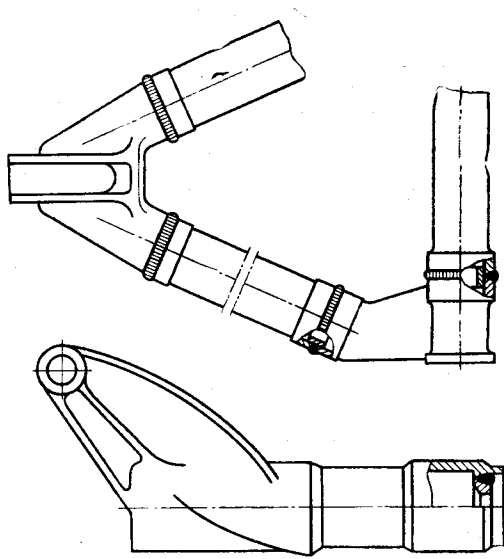
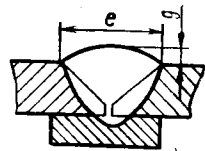
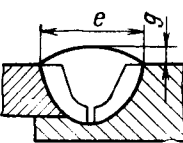
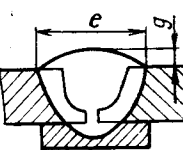
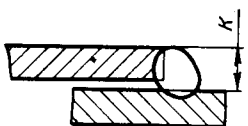
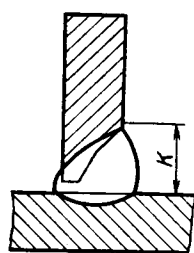


Титановые сплавы

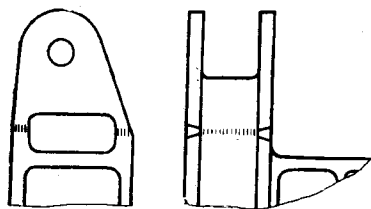
Св. 4,0

1520, 1620

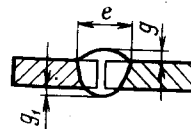


Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				Рекомендуемые способы сварки
Наименование	Э с к и з	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	
2. Со швами сложной конфигурации — ручная сварка		C05052		Конструкционные высокопрочные стали	Св. 4,0	1050
		C06062				
		C06210				
		H00000		Конструкционные высокопрочные стали	Св. 2,0	1100
		T00050		Титановые сплавы	Св. 2,0	1620.РК

Узлы поворота —
автоматическая свар-
ка



C00000

Нержавеющие
теплостойкие стали

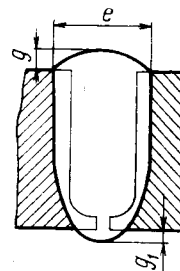
До 40,0

5200

Титановые сплавы

До 60,0

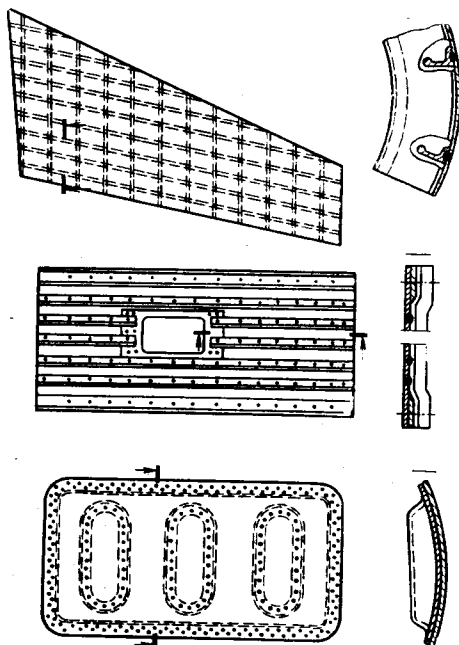
C13130

Нержавеющие
теплостойкие стали

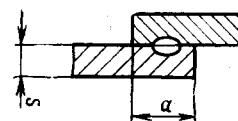
Св. 10,0 до 40,0

1620.AV

Панели, люки с же-
сткостями



H00006

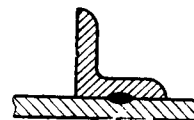


Все стали и сплавы

До 2,0

2100
2101

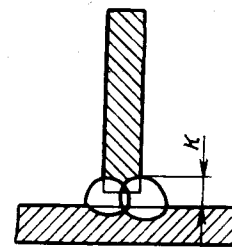
H00016



До 4,0

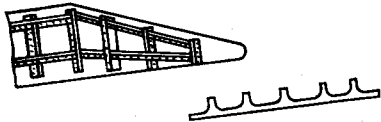
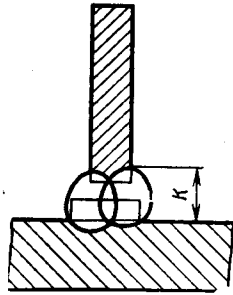
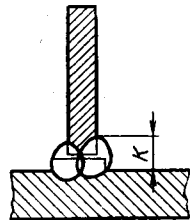
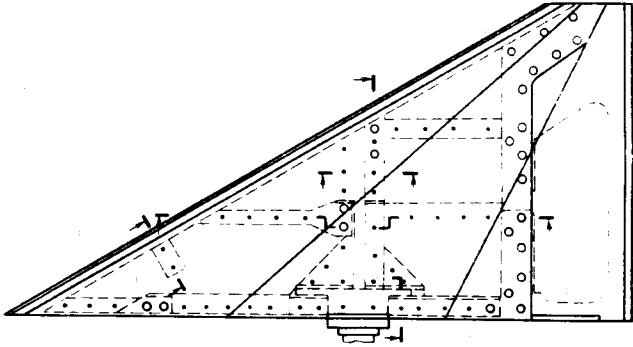
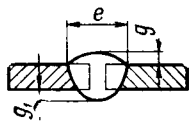
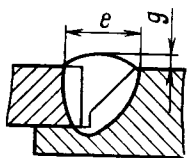
2200

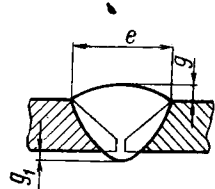

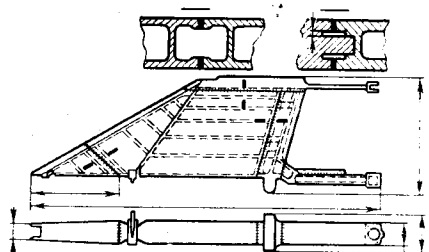
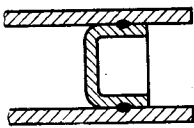
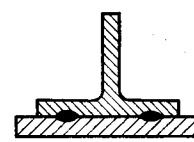
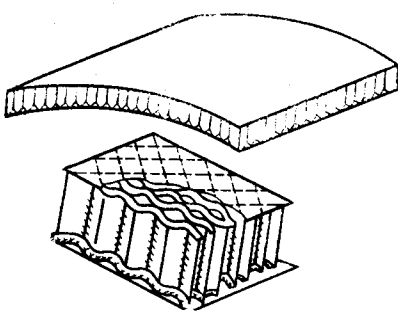
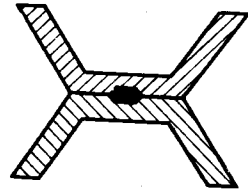
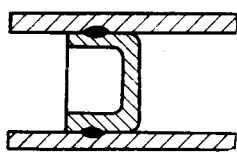

T00001

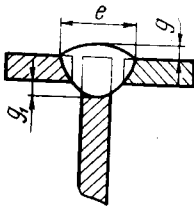
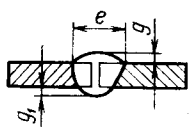
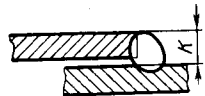
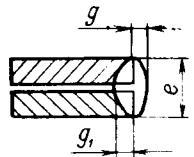

Конструкционные,
нержавеющие стали
и титановые сплавы

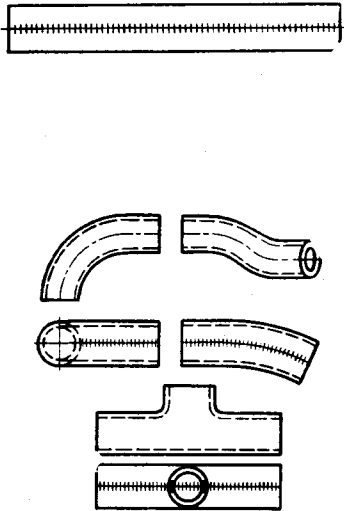
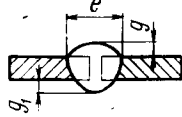
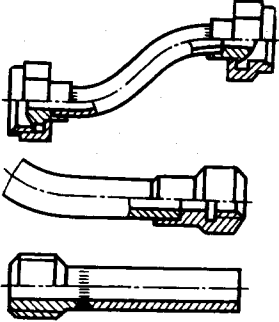
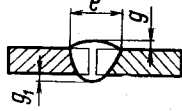
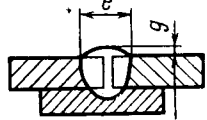
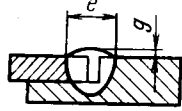
До 5,0

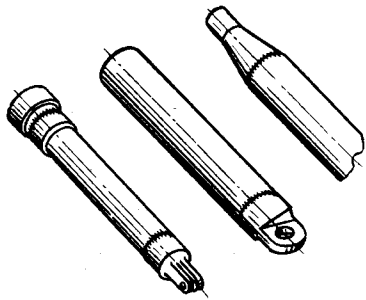
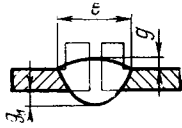
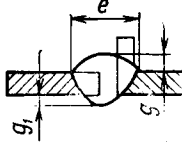
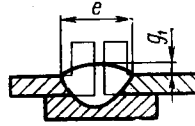
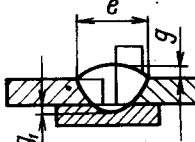
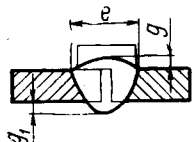
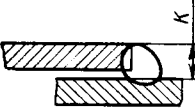
1520.АД
1620.АД

Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				Рекомендуемые способы сварки
Наименование	Эскиз	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	
		T00007		Конструкционные, нержавеющие стали и титановые сплавы	До 5,0	1520.АД 1620.АД
		T00521				
Узлы крыла и оперения		C00000		Конструкционные и нержавеющие стали	Св. 1,0 до 3,0	1020 5200, 5500
				Титановые сплавы	Св. 3,0 до 10,0	5200, 5500
					Св. 1,0 до 3,0	1620, ОК, 5200
		C00160		Алюминиевые сплавы	Св. 3,0 до 16,0	5200, 5500
				Конструкционные, нержавеющие стали	Св. 1,0 до 6,0	1620 1220
					Св. 1,0	1620 1220

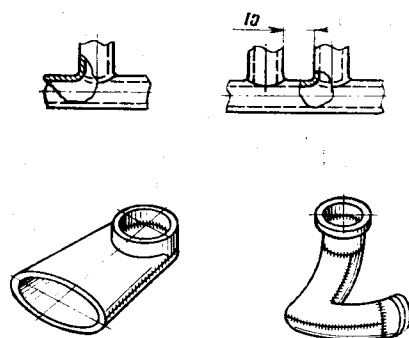
Узлы крыла и оперения		C05050		Конструкционные и нержавеющие стали	Св. 3,0	1620
		C05160				1220 1230
Узлы крыла и оперения		H00016		Все стали и сплавы	Св. 0,5	2100
		H00016				2200
Сотовые и слоистые панели		H01016		Нержавеющие, жаропрочные стали и титановые сплавы	Св. 0,05 до 0,08 (заполнитель)	2100
		H00016				2200
		H00C02 C00002 (для сварки с перфорированными обшивками)			Св. 0,2 до 0,8 (обшивка)	2200/1620.АО 2200/5200 2200/5500.АО

Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				Рекомендуемые способы сварки
Наименование	Э с к и з	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	
		C00003		Нержавеющие, жаропрочные стали и титановые сплавы	Св. 0,2 до 0,8	1020.АО 5200 5500.АО
		C00000				
		H00000				
		Ц00002				
		C00003				

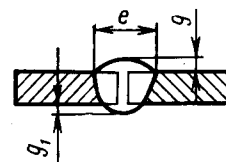
Трубопроводы с продольными швами. Для прямолинейных швов — автоматическая сварка		C00000		Нержавеющие стали	Св. 0,6 до 3,0	1520.ПО 1620.ПО 1620.РО
				Алюминиевые сплавы	Св. 0,8 до 3,0	1620.ПО 1620.РО
				Титановые сплавы	Св. 0,6 до 3,0	1520.ПО 1620.ПО 1620.ОК
Трубопроводы и трубные конструкции: 1. С кольцевыми швами		C00000		Конструкционные и нержавеющие стали	Св. 0,6 до 3,0	1520.АО 1620.АО
		C00002				
		C00110				

Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				Рекомендуемые способы сварки
Наименование	Э с к и з	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	
		C02020		Титановые сплавы	Св. 0,6 до 3,0	1520.АО 1620.АО
		C00020				
		C02022		Алюминиевые сплавы	Св. 0,8 до 3,0	
		C00022				
		C00030		Нержавеющие стали и титановые сплавы	Св. 0,5 до 1,5	1520.АМ
		H00000				

2. Со сложными швами



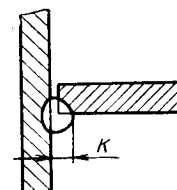
C00000



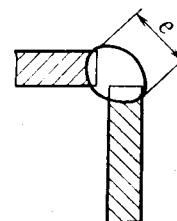
H00000



T00004



Y00000

Конструкционные и
нержавеющие стали

Св. 0,6 до 3,0

Св. 0,6 до 1,5

1620.Р0
1100

3110

Титановые сплавы

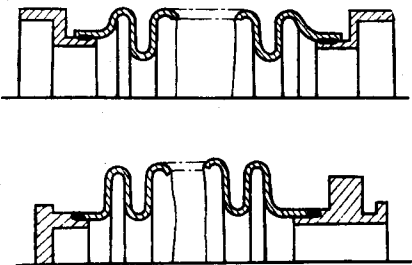
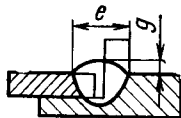
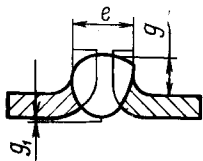
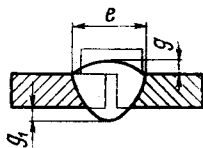

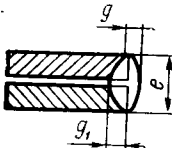
Св. 0,6 до 3,0


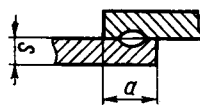
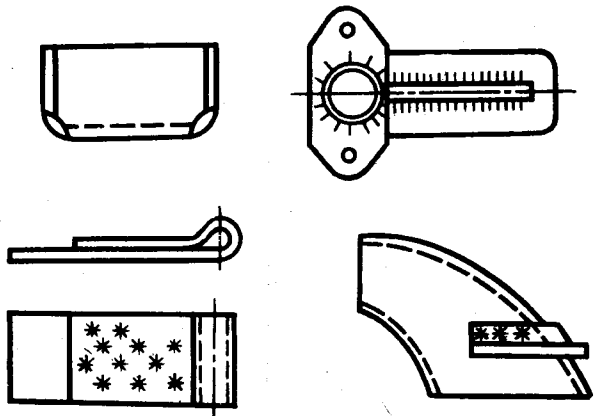
1620.ОК

Алюминиевые спла-
вы

Св. 0,8 до 3,0

1620.Р0
3110

Конструкции сварных деталей и узлов		Рекомендуемые типы сварных соединений				Рекомендуемые способы сварки
Наименование	Э с к и з	Условное обозначение шва сварного соединения	Форма поперечного сечения сварного соединения	Свариваемые материалы	Толщина свариваемого материала, мм	
Компенсаторы (сильфоны)		C00310		Нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 0,1 до 3,0	5200 5500.АО 1520.АО 1620.АО
		C01010				
		C00030				
		C00290		Алюминиевые сплавы	Св. 0,5 до 2,0	1620.АО
		Ц000000				

		H00116		Нержавеющие и жаропрочные стали	Св. 0,05 до 0,5 (сильфон)	2200
		H00006		Алюминиевые сплавы	Св. 0,5 до 1,0 (сильфон)	
Мелкие узлы		Все типы соединений		Малоуглеродистые и нержавеющие стали	Св. 0,5 до 1,5	1620, 3110 2100, 2200, 2300
					Св. 1,5	1000, 2100, 2200
				Титановые сплавы	Св. 0,5	1620.ПК 2100 2200, 2300
				Алюминиевые сплавы	Св. 0,8	1620.РО 2100 2200
Корпусные фланцы, бандажи, трубчатые и профильные конструкции				Малоуглеродистые стали	Поперечное сечение, мм ² до 10 000	2500
				Нержавеющие, жаропрочные стали и титановые сплавы	до 4000	2500
				Алюминиевые сплавы	до 2000	2500

Прочностные характеристики сварных соединений

В разделе приводятся данные по статической и циклической прочности соединений, выполненных различными способами сварки.

Пределы прочности при статических нагрузках соединений, выполненных сваркой плавлением и шовной сваркой, определены по напряжению в листе. Для соединений, выполненных точечной сваркой, приведены разрушающие нагрузки на точку. Во всех случаях прочностные характеристики относятся к сварным точкам и швам, диаметр (ширина) литого ядра которых задан в соответствии с табл. XIV.5.16÷XIV.5.19. Циклическая прочность характеризуется пределом выносливости, определенным при заданном числе циклов нагружения ($N=20^3$ циклов при повторно-статических нагрузках и $N=10^7$ циклов — на усталость). Прочность сварного соединения зависит от свойств материала, технологии сварки и геометрических размеров сварного соединения. Прочность сварного точечного соединения определяется величиной разрушающего усилия на срез и на отрыв.

Прочность при статических нагрузках

Минимальные значения предела прочности и пластичности или разброса прочности при статических нагрузках стыковых сварных соединений, выполненных сваркой плавлением, приведены в табл. XIV.5.27÷XIV.5.30, в том числе на:

малоуглеродистые, среднелегированные и нержавеющие стали — в табл. XIV.5.27;
титановые сплавы — в табл. XIV.5.28;
алюминиевые сплавы — в табл. XIV.5.29.

Минимальные значения разрушающих усилий при статическом срезе сварных точек и швов в за-

висимости от толщины детали для конструкционных, нержавеющих сталей и титановых сплавов приведены в табл. XIV.5.30, XIV.5.31, а для алюминиевых и магниевых сплавов — в табл. XIV.5.32.

Минимальные значения разрушающего напряжения на статический срез швов, выполненных шовной сваркой, из алюминиевых и магниевых сплавов в процентах от напряжения основного материала приведены в табл. XIV.5.33.

Прочность сварных соединений при статических нагрузках в условиях повышенных температур

Статическая прочность сварных стыковых соединений, выполненных сваркой плавлением на образцах из теплостойких нержавеющих сталей, при нормальных, пониженных и повышенных температурах приведена в табл. XIV.5.34, XIV.5.35.

Прочность на отрыв сварных точечных соединений на образцах из алюминиевых и магниевых сплавов при повышенных температурах дана в табл. XIV.5.36.

Прочность при циклических нагрузках

Большинство узлов летательных аппаратов в полете подвергается действию повторных нагрузок.

Прочность сварных соединений при действии повторных нагрузок определялась путем испытания образцов при знакопеременном изгибе и асимметричном растяжении.

Предел выносливости сварных соединений, выполненных автоматической аргодуговой сваркой, контактной точечной и шовной сваркой на образцах из различных металлов и сплавов, приведен в табл. XIV.5.37÷XIV.5.39.

Таблица XIV.5.27

Прочность и пластичность сварных стыковых соединений при нормальной температуре, выполненных сваркой плавлением малоуглеродистых, среднелегированных и нержавеющих сталей

Марка материала	Толщина, мм	Код способа сварки	Присадочный материал (числитель), обмазка или флюс (знаменатель)	Состояние материала до и после сварки	Прочность при статическом растяжении σ_B , кгс/мм ² , не менее	Ударная вязкость a_K , кгс/см ² , не менее	Угол загиба α , град.
Сталь 10, 20, 20А, 25	1,0	3110	Св. 08А	Н или О + Св Н или без ТО	30—38	6	—
	1—10	1100	Св. 08А ВИ-9-6			1,5	—
		1230	Св. 08А Э42-Э55		0,95 σ_B основного материала	8	—
		1050.АО	Св. 08А АН-348А				

Марка материала	Толщина, мм	Код способа сварки	Присадочный материал (числитель), обмазка или флюс (знаменатель)	Состояние материала до и после сварки	Прочность при статическом растяжении σ_B , кгс/мм ² , не менее	Ударная вязкость a_n , кгс/см ² , не менее	Угол загиба α , град.
10Г2А, 12Г2А	1—4	3110	Св. 08А	О + Св + Н или без ТО	32—40	6	—
		1100	Св. 08А, Св. 18ХМА ВИ-9-6		35—48	3	—
		1050.АО	Св. 18ХМА АН-348		36—47	6	—
25ХГСА	До 2	3110	Св. 08А, Св. 18ХМА	Н или О + Св + ТО до $\sigma_B \leq 90$ кгс/мм ²	72	6	—
25ХГСА	1—4	1100	Св. 08А ВИ-9-6	Н или О + Св + ТО до $\sigma_B \leq 90$ кгс/мм ²	60	2	—
			Св. 18ХМА ВИ-9-6		80	1,5	—
			Св. 18ХМА ВИ-10-6, НИАТ-3М		80	6	40
		1050.АО	Св. 18ХМА АН-348А		100	5	—
			Св. 08А АН-348А		60	8	—
25ХГСА 30ХГСА	Св. 1 до 10	1100	Св. 08А НИАТ-3М	Н или О + Св + ТО до $\sigma_B = 120 \pm 10$ кгс/мм ²	100	6	—
			Св. 18ХМА ВИ-10-6			5	—
			Св. 18ХМА ВИ-9-6			1	—
		1050.АО	Св. 18ХМА АН-348А			4	—
25ХГСА 30ХГСА	Св. 10	1050.АО	Св. 08А АН-348А	То же	60	8	—
			Св. 18ХМА АН-348А		90	4	—

Марка материала	Толщина, мм	Код способа сварки	Присадочный материал (числи- тель), обмазка или флюс (знаменатель)	Состояние материала до и после сварки	Прочность при статиче- ском растя- жении σ_B , кгс/мм ² , не менее	Ударная вязкость a_K , кгс/см ² , не менее	Угол загиба α , град.
25ХГСА, 30ЗГСА	Св. 10	1100	Св. 08А НИАТ-3М	Н или О + Св + ТО до $\sigma_B=120 \pm 10$ кгс/мм ²	90	6	—
			Св. 18ХМА ВИ-9-6		90	5	—
		4000	Св. 18ХМА АН-8, АН-348А		95	4	—
25ХГСА, 30ХГСА	1—4	1100	Св. 08А ВИ-9-6	ТО до $\sigma_B=120 \pm 10$ кгс/мм ² + Св	70	3	—
			Св. 18ХМА ВИ-9-6		75	2	—
			ЭИ-395 НИАТ-5		70	10	—
			ЭИ-334, ЭИ-435 ВИ-12-6		70	10	—
	1020.АО	ЭИ-395, ЭИ-334, ЭИ-435	60		10	—	
		1100	ЭИ-395 НИАТ-5		60	10	—
	10—20		ЭИ-334, ЭИ-435 ВИ-12-6		55	10	—
	Св. 20		ЭИ-395 АН-15		50	10	—
	Св. 4	1050.АО	ЭИ-395 АН-15		60	12	—
	35ХГСА	До 30	1100		Св. 19ХМА НИАТ-3М	О + Св + ТО до $\sigma_B = 120 \pm 10$ кгс/мм ²	90
Св. 10Х16Н25М6 НИАТ-5				ТО до $\sigma_B=120 \pm 10$ кгс/мм ² + Св	60—80	—	—
ВНЛ-3	ЭП-659 ВИ Н-16	ТО до $\sigma_B=125 \pm 10$ кгс/мм ² + Св		110	—	—	
		100		—	—		
		О + Св + ТО до $\sigma_B=125 \pm 10$ кгс/мм ²		120	—	—	
30Х2ГСНВМ (ВЛ1-Д)	3—6	1020.АО	Св. 20ХГСНВМ (Св. ВЛ1-Д), Св. 18ГСА, Св. 18ХМА	О + Св + 3 + Оп	144	4,5	30
ВКС-1	4		Св. ВЛ1-Д или без присадки	О + Св + 3 + Оп + П	144	7,5	50
				О + Св + 3 + Оп	183	6,5	27
ЭП257	2—3		ОХ5МА	О + Св + 3 + Оп + П	186	9	57
				О + Св + 3 + Оп	170	5,7	57
СП-28	До 20	1100	ВЛ1-ДГ Н-17	О + Св + 3 + Оп	140	4	—

Марка материала	Толщина, мм	Код способа сварки	Присадочный материал (числитель), обмазка или флюс (знаменатель)	Состояние материала до и после сварки	Прочность при статическом растяжении σ_B , кгс/мм ² , не менее	Ударная вязкость a_K , кгс/см ² , не менее	Угол загиба α , град.
23Х2НВФА (ЭИ659)	1—4	3110, 5800	Св. 18ХМА	ТО до $\sigma_B=120 \pm 15$ кгс/мм ² + Св	105	4	—
		1100	Св. 18ХМА ВИ-10-6		115	4	—
			УОНИ-13/85				
		1520.АО	Без присадки				
		1050.АО	Св. 18ХМА АН-348А				
		1100	НИАТ-5		60	10	—
		1020	ЭИ-395				
		3110, 5800, 1020	Св. 18ХМА	О + Св + ТО до $\sigma_B=120 \pm 15$ кгс/мм ²	115	4	—
		1100	Св. 18ХМА ВИ-10-6				
		1050.АО	Св. 18ХМА АН-348А				
12Х2НВФА (ЭИ712)	1—4	3110, 5800	Св. 18ХМА	ТО до $\sigma_B=100 \pm 15$ кгс/мм ² + Св	90	4	—
		1100	Св. 18ХМА ВИ-10-6, НИАТ-3М		95	6	90
			Св. 10Г2				—
		1520.АО	Без присадки				52
		1050.АО	Св. 18ХМА АН-348А				—
		1020	ЭИ-395		60	10	—
		1100	НИАТ-5				
		1620	Св. 18ХМА	О + Св + ТО до $\sigma_B=100$ кгс/мм ²	95	6	—
		3110, 5800					
		1520.АО	Без присадки				
		1100	Св. 18ХМА ВИ-10-6				
			УОНИ-13/85				
			НИАТ-3М				
		1050.АО	Св. 18ХМА АН-5				
		1230	Св. 10Г2				

Марка материала	Толщина, мм	Код способа сварки	Присадочный материал (числитель), обмазка или флюс (знаменатель)	Состояние материала до и после сварки	Прочность при статическом растяжении σ_B , кгс/мм ² , не менее	Ударная вязкость a_K , кгс/см ² , не менее	Угол загиба α , град.
40ХН2СВА	8—15	1050.АО	Св. 20Х4ГМА АН-15	О + Св + ТО до $\sigma_B=200 \pm 10$ кгс/мм ² и $\sigma_B=190 \pm 10$ кгс/мм ²	125	4	—
40ХН2СВА + 30ХГСН2А			Св. 20Х4ГМА АН-15, АН-15М				
40ХН2СВА	15—25		Св. 20Х4ГМА АН-15		120	4	—
40ХН2СВА + 30ХГСН2А			Св. 20Х4ГМА АН-15, АН-15М		110	4	—
					100	4	—
40ХН2СВА + 18Х2Н4ВА	8—25		Св. 20Х4ГМА АН-15		100	4	—
30ХГСН2А	4—15		Св. 20Х4ГМА АН-15, АН-15М		125	5	—
	15—25			120	5	—	
	4—15			125	4	—	
	15—25			120	4	—	
30Х2ГСН2ВМ (ВЛ1)	8—15		1050.АО	Св. 20Х2ГСНВМ (Св. ВЛ1-Д) АН-15, АН-15М	О или Н + Св + 3 + ОП	125	4
	15—25	120				4	—
30ХГСН2А	4—10	1100	НИАТ-3М; Св. 18ХМА ВИ-10-6	О + Св + ТО до $\sigma_B=170 \pm 10$ кгс/мм ²	120	6	—
	10—15				100	6	—
	Св. 15				90	6	—
	4—10		НИАТ-3, Н-17		145	5	—
	10—15				130	5	—
	Св. 15				120	5	—
30ХГСН2А 40ХН2СВА	До 25		НИАТ-5 Св. 04Х19Н11М3 ВИ-12-6	ТО до $\sigma_B=170 \pm 10$ кгс/мм ² + Св	60	10	—
40ХН2СВА	До 10	1100	НИАТ-3М	О + Св + ТО до $\sigma_B=200 \pm 10$ кгс/мм ² и $\sigma_B=190 \pm 10$ кгс/мм ²	125	4,5	—
	10—15		Св. 10ХМ ВО-10-6		120		—
			Св. 15		НИАТ-3М		100
	27ХГСНМЛ		До 30		Св. 10ХМ ВИ-10-6		90
Св. ВЛ1-ДГ Н-17		140		—	—		
Св. 10Х16Н25М6 НИАТ-5		ТО до $\sigma_B=160 \pm 10$ кгс/мм ² + Св		60—100	—	—	

Марка материала	Толщина, мм	Код способа сварки	Присадочный материал (числи- тель) обмазка или флюс (знаменатель)	Состояние материала до и после сварки	Прочность при статиче- ском растя- жении σ_a , кгс/мм ² , не менее	Ударная вязкость a_n , кгс/см ² , не менее	Угол загиба α , град.
12X18H10T (X18H10T)	2,0—12,0	1050.АО	Св. 06X19H10H3T или Св. 06X19H9T ФН-2	З + Св	50	8	—
14X17H2 (ЭИ268)	30 и более	4000	Св. 1X17H2 АНФ-7	О + Св	120	3	—
15X18H12C4TЮ (ЭИ654)	2—3	1050.АО	Св. 15X18H2C4TЮ АН-348А	З + Св	55	—	—
1X15H4AM3 (ВНС-5, ЭП310)	8—20		Св. ВНС-5 ФКН-3 Св. ВНС-5 АВ-5	Н—1050°C+X+ +Ст—350°C+Св	115 115	6 5	— —
11X11H2BMФ (ЭИ962)	4—15		Св. 11X11HBMФ ФН-2	О+Св+Н—1000°C+ +Оп—650°C	90	4	—
			Св. 06X19H10M3T ФН-2	О+Св	65	4	—
1X12H2BMФ (ЭИ961)	15 и более	4000	Св.10X11HBMФ	О+Св+З—1000°C+ +Оп—570°C	110	3,5	—
08X17H5M3 (CH3, ЭИ925)	0,6—3,0	1020	Св. СН-2ЛА без присадки	Н—950°C+Св+П— —3500 кгс+Ст—480°C Н—950°C+Св+П— —3000 кгс+Ст—450°C	100 120	— —	180 80
07X16H6 (CH2A, ЭП288)	До 3	1020	Св. 08X21H10Г6	Без ТО	70	—	180
	20		07X16H6 (ЭП288)	Св+Н—1000°C+X+ +Ст—400°C	125	—	120
			Св. 08X21H10Г6	Без ТО	65	16	—
			07X16H6 (ЭП288)	Св+Н—1000°C+X+ +Ст—400°C	120	7	—
ВНЛ-1	До 20	1100	Н11	Св+Н—1100°C+X+ +Оп—250°C	100	5	—
				Св+X+Оп—250°C	95	4	—

Примечание. В табл. XIV.5.28,—XIV.5.30, XIV.5.35, XIV.5.36, XVI.5.38, XIV.5.39 приводятся сокращенные обозначения состояния материала и виды термообработки (ТО):

СП — состояние поставки (нагартованный материал), Св — сварка, Н — нормализация, О — отжиг, З — закалка, Ст — старение, Оп — отпуск, Х — обработка холодом (—70°C), П — прокатка. Иск. ст — искусственное старение,

Таблица XIV.5.28

Прочность и пластичность сварных стыковых соединений из титановых сплавов, выполненных сваркой плавлением

Марка материала	Толщина, мм	Код способа сварки	Присадочный материал	Состояние материала до и после сварки	Прочность при статическом растяжении σ_b , кгс/мм ² , не менее	Ударная вязкость a_n , кгс/см ² , не менее	Угол загиба α , град.
BT1-00 BT1-0	1—3	1620.AO	Св. BT1-00		0,9 σ_b основного материала	—	110—130
OT4	1,2—3	1520.AO	Без присадки	Без ТО	76—87	—	70—75
	5,0	5500.AO			81—83	—	51—54
	10	5500.AO			95—98*	8—9	29—37
OT4-1	0,5—2	1520.AO 5500.AO 1620.PK	Без присадки Св. BT1-1	Без ТО	60—74	8—10	63—154
		5500.AO	Без присадки		66—70	9—10	63—83
	8—10	1620.PK	Св. BT1-1		61—65	7—10	43—79
OT4-2	3,5				107	—	32—45
BT5-1	1—2	1520.AO	Без присадки	Св+О—620 °С—0,5 ч	80—86	7,8—11,3	41—80
	1,5				81—84	—	67—120
BT6C	3—5	1520.AO 1620.AO	Без присадки и Св. BT1-00	О+Св+О	85—90	6—7	42—49
	7—8	1520.АП 1220.AO 1620			71—77	6—8	44—49
	3	1520.АП		Св+З—850 °С+ +Ст—500 °С—2 ч	100—105	3,1—3,5	35
					84—85	6—8	44—49
	7	1620		З—850 °С+ +Ст—500 °С—2 ч+Св	88—90	4—7,5	25—42
BT14	0,8—2	1520	Без присадки	О+Св	98—100	1,9—2,8	29—43
					111—119	3—4,4	14—19
	3,5		Св. BT1-00		86—95	4,3—5,2	28—32
	0,8—1,5		Без присадки	Св+З—900 °С+ +Ст—480 °С—12 ч	113—130	—	25—60
					112—134	1,0—4,5	15—23
			Св. BT1-00	Св+З—870 °С+ +Ст—500 °С—16 ч	106—118	2,4—3,2	10—25
			BT14		118—121	0,9—1,7	4—8
	3,5		Без присадки	Св+З—870 °С+ +Ст—480 °С—12 ч	100	—	19—28
			Св. BT1-00 и др.		96—105	—	28—44

Марка материала	Толщи- на, мм	Код способа сварки	Присадочный материал	Состояние материала до и после сварки	Прочность при статиче- ском растя- жении σ_b , кгс/мм ² , не менее	Ударная вяз- кость a_k , кгс/см ² , не менее	Угол загиба α , град.
BT14	15—18	1220.AO	Св. СПТ-2	Св+З—870 °С+ +Ст—540 °С—16 ч	99—109	2,6—3,2	—
		Св+О		91—100	4,1—4,4	—	
		1520.AO		Без ТО	86—88	6,6—7,1	—
BT20	1—3	1520.AO	Без присадки	Без ТО	93—116	4,4—5,4	27—62
		1620.PK	BT2-2 Св. СПТ-2 Св.		90—115	4,7—5,9	30—49
			Без присадки	Св+О—700 °С и 750 °С—1 ч	96—111	4,3—4,3	30—78
			BT20-1 Св. BT20-2 Св.		100—114	4,9—5,9	25—48
			Св+О—700 °С—1 ч	101—113	4,0—6,6	78—91	
ПТ7М	0,5—1	1620.PK	Без присадки	Без ТО	60	—	154
Св+О—560, 600, 650 °С				60—66	—	140—180	
Без ТО				69	—	145	
Св+О—560 °С				63	—	107	
Св+О—600 °С				69	—	114	
Св+О—650 °С				66	—	112	
Св+О—560 °С				63	—	140	
Св+О—600 °С				66	—	180	
Св+О—650 °С				65	—	112	
BT20+ОТ4	3—6	1520.AO 1620.AO	Без присадки и BT20-2 Св.	Без ТО	74—94	5,8—7,1	38—59
BT20+BT5-1	3				87—104	4,9—7,3	34—43
BT20+BT14					104—108	4,9—7,2	29—43
BT20+BT6C					91—95	5,7—7,8	30—50
BT20+ОТ4-2					104—106	5,3—5,6	36—41
BT1-0+ОТ4	1		Без присадки и ОТ4 Св.		43—46	—	95—180
ОТ4+BT6C	2				77—88	2,7—5,3	35—57
ОТ4-2+BT14	3				77—107	4,6—5,0	29—36
ОТ4+BT5-1					104	4,8—5,3	33—38
ОТ4+BT14					79—86	6,2—6,3	37—47
BT14+BT6C					93—97	4,6—6,6	27—31
BT5Л, BT6Л, BT9Л, BT14Л	До 15		1020.AO 1620.PK	Без ТО	0,9 σ_b * основного материала	—	—
BT20Л	Св. 15	0,8 σ_b * основного материала			—	—	

* σ_b основного материала 98—100 кгс/мм².

Таблица XIV.5.29

Прочность сварных стыковых соединений из алюминиевых сплавов

Марка материала	Толщина, мм	Состояние материала до и после сварки	Прочность сварных соединений в зависимости от категории швов по отношению к основному материалу								
			1620.Р0			1620.А0			1220		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III
Не упрочняемые термической обработкой АД, АД1, АМц, АМг1, АМг2, АМг3, АМг4, АМг5, АМг6	До 3	О+Св	0,9	0,85	0,7	0,9	0,9	0,8	—	—	—
	3—10		0,85	0,8	0,6	0,9	0,85	0,7	—	—	—
	5—10		—	—	—	—	—	—	0,8	0,75	0,7
Упрочняемые термической обработкой Д20, Д201, АД31, АД33, АВ, 1915	До 3	З+Иск.ст	0,8	0,75	0,5	0,85	0,8	0,6	0,75	0,7	0,6
	3—10		0,6	0,55	0,5	0,65	0,6	0,55	—	—	—
	5—10		0,55	0,5	0,45	0,6	0,55	0,5	—	—	—
	До 3	З+Св+Иск.ст	—	—	—	—	—	—	0,55	0,5	0,45
	3—10		0,5	0,45	0,4	0,55	0,5	0,45	0,5	0,4	0,4
	5—10		0,7	0,65	0,6	0,75	0,7	0,65	—	—	—
	До 3	З+Св+З+Иск.ст	0,65	0,6	0,5	0,7	0,65	0,6	—	—	—
	3—10		—	—	—	—	—	—	0,65	0,6	0,5
	5—10		0,6	0,55	0,45	0,65	0,6	0,5	0,6	0,5	0,45
	До 3		0,9	0,85	0,7	0,9	0,9	0,8	—	—	—
	3—10		0,85	0,8	0,6	0,9	0,85	0,7	—	—	—
	5—10		—	—	—	—	—	—	0,8	0,75	0,65
	Св. 10		0,8	0,75	0,5	0,85	0,8	0,6	0,75	0,7	0,6

Таблица XIV.5.30

Прочность точечных сварных соединений, выполненных аргонодуговой сваркой (без присадки)

Толщина свариваемых материалов, мм	Сталь 12Х18Н10Т		Сталь 30ХГСА		Толщина свариваемых материалов, мм	Сталь 12Х18Н10Т		Сталь 30ХГСА	
	диаметр ядра, мм	минимальное разрушающее усилие на срез, кгс	диаметр ядра, мм	минимальное разрушающее усилие на срез, кгс		диаметр ядра, мм	минимальное разрушающее усилие на срез, кгс	диаметр ядра, мм	минимальное разрушающее усилие на срез, кгс
0,4+0,4	3,0—3,5	150	—	—	1,0+1,2	—	—	6,0—8,0	800
0,5+0,5	—	—	3,0—4,0	250	1,0+1,5	6,5—7,5	500	—	—
0,5+1,0	—	—	4,0—5,0	400	1,5+1,5	7,0—8,0	700	7,0—9,0	900
0,8+0,8	4,0—5,0	250	—	—	1,5+2,0	8,0—9,5	800	7,0—10,0	1200
0,8+1,0	5,0—6,0	400	—	—	1,5+2,5	8,0—10,0	900	—	—
0,8+1,2	5,0—7,0	400	—	—	2,0+2,5	9,0—12,0	1200	—	—
1,0+1,0	5,0—7,0	400	5,0—7,0	700					

Таблица XIV.5.31

Минимально допустимые разрушающие усилия сварных точек и швов для конструкционных нержавеющих, жаропрочных сталей и титановых сплавов при статическом срезе (плоские образцы), кгс

Толщина тонкой детали, мм	Прочность основного материала (в неупрочняемом состоянии), кгс/мм ²							Прочность роликового шва в процентах от прочности основного материала в неупрочняемом состоянии, не менее
	$\sigma_b < 40$	$40 \leq \sigma_b < 50$	$50 \leq \sigma_b < 60$	$60 \leq \sigma_b < 70$	$70 \leq \sigma_b < 80$	$80 \leq \sigma_b < 90$	$\sigma_b \geq 90$	
0,3	65	80	100	115	130	145	160	90
0,4	90	110	135	155	175	200	215	
0,5	115	140	175	200	230	260	285	
0,6	150	180	225	265	300	340	355	
0,7	190	226	280	320	360	405	445	
0,8	230	275	345	395	450	510	560	80
1,0	320	385	480	550	625	705	775	
1,2	435	525	655	750	855	965	1060	
1,5	635	760	950	1085	1235	1395	1535	
2,0	915	1100	1375	1565	1785	2020	2220	
2,5	1165	1400	1750	1995	2275	2570	2825	70
3,0	1415	1700	2125	2420	2760	3120	3430	
3,5	1880	2250	2800	3200	3680	4100	4410	
4,0	2210	2650	3300	3770	4350	4820	5180	

Примечание. Минимально допустимые усилия даны для соединения с минимальными размерами литой зоны. Разрушающее усилие отрыва для закаляющихся сталей должно быть не менее 25% прочности на срез.

Таблица XIV.5.32

Минимально допустимые разрушающие усилия на срез сварных точек из алюминиевых и магниевых сплавов (плоские образцы), кгс

Толщина тонкой детали в соединении, мм	Минимальный диаметр ядра точки, мм	Предел прочности сплавов, кгс/мм ²					
		алюминиевых				магниевых	
		$\sigma_b < 13$	$13 \leq \sigma_b < 20$	$20 \leq \sigma_b < 32$	$\sigma_b > 32$	$\sigma_b < 24$	$\sigma_b > 24$
0,3	2,5	10	15	30	35	—	—
0,4	2,5	15	20	40	50	—	—
0,5	3,0	35	45	55	70	35	50
0,6	3,0	45	55	65	85	45	60
0,8	3,5	75	95	105	125	80	100
1,0	4,0	100	130	140	160	110	140
1,2	5,0	130	170	180	220	160	190
1,5	6,0	165	230	250	330	220	270
1,8	6,5	195	270	295	385	250	315
2,0	7,0	235	345	385	480	280	350
2,5	8,0	315	430	540	670	320	400
3,0	9,0	360	490	650	890	440	550
3,5	10,5	485	670	880	1190	570	710
4,0	12,0	650	850	1100	1500	680	850
5,0	14,0	1100	1350	1875	2600	1000	1250
6,0	16,0	—	1825	2550	3450	1360	1700
7,0	18,0	—	2200	3050	4150	1600	2000
1,5**	6,0	—	—	—	850	—	600

* Разрушающее усилие отрыва должно быть не менее 25% от прочности на срез.

** Клееварное соединение.

Таблица XIV.5.33

Минимально допустимые разрушающие напряжения на статический срез (разрыв) плоских образцов из алюминиевых и магниевых сплавов в процентах от σ_b основного материала, выполненных шовной сваркой

Толщина тонкой детали в соединениях, мм	Минимальная ширина литой зоны, мм	Предел прочности сплавов, кгс/мм ²				
		алюминиевых				магниевых
		$\sigma_b \leq 15$	$15 \leq \sigma_b < 23$	$24 \leq \sigma_b < 32$	$\sigma_b \geq 32$	$\sigma_b = 24 \div 30$
0,3	2,5	100	100	90	70	—
0,5	3,0	100	100	85	65	—
0,8	3,5	100	100	80	60	65
1,0	4,0	100	100	80	60	65
1,2	5,0	100	100	75	55	60
1,5	6,0	100	100	75	55	60
1,8	6,5	100	100	75	50	55
2,0	7,0	100	100	70	45	55
2,5	7,5	100	100	65	40	50
3,0	8,0	100	100	65	40	50
3,5	9,0	100	90	55	40	—
4,0	10,0	100	90	55	35	—
5,0	12,0	100	90	45	30	—

Таблица XIV.5.34

Статическая прочность и пластичность сварных стыковых соединений, выполненных сваркой плавлением, определенная на образцах из различных материалов

Марка материала	Толщина, мм	Марка присадоч- ной проволоки, электродов	Способ сварки	Состояние мате- риала до и после сварки	Предел прочности, кгс/мм ² при температуре, °С						Ударная вязкость, кгс·см/см ² , не менее	Угол загиба, град.
					20	200	300	400	500	600		
12X18H10T (X18H10T)	0,8—3,0	Св. 06X19H9T	1020, 1230	З+Св	54—60	—	—	—	—	39—42	—	—
		НИАТ-1 Св. 06X19H9T	1100		50	—	—	—	—	—	9	—
09X15H8Ю (CH2, ЭИ904)	До 4,0	НИАТ-6	1100	Н—950 °С+Х+ Ст—425 °С+Св	80	—	—	50	—	—	9	—
	Н—950 °С+Св+ +Н—975 °С+Х+ +Ст—425 °С			110	—	—	100	—	—	2,5	—	
	Св. 4,0			Н—950 °С+Х+ Ст—425 °С+Св	95	—	—	50	—	—	9	—
				Н—950 °С+Св+ +Н—975 °С+Х+ Ст—425 °С	115	—	—	100	—	—	2,5	—
07X16H6 (CH2A, ЭП288)	До 3,0	Св. 08X21H10Г6	1020	О—650 °С+Св	70	—	—	48	—	—	—	—
		07X16H6 (ЭП288)	1020	Н—1000 °С+ +Св+Н— —1000 °С+Х+ Ст—400 °С	125	—	—	100	—	—	—	120
	20,0	Св. 08X21H10Г6	1020	О—650 °С+Св	65	—	—	45	—	—	16	—
		07X16H6 (ЭП288)	1020	Н—1000 °С+ +Св+ Н—1000 °С+Х+ Ст—400 °С	120	—	—	100	—	—	7	—
08X17H5M3 (CH3, ЭИ925)	До 3,0	—	1020	Н—950 °С+Х+ Ст—450 °С+Св	85	—	60	—	—	—	—	180
				Н—950 °С+Св+ Н—950 °С+Х+ Ст—450 °С	120	—	105	—	—	—	—	80
	1,0			Н—950 °С+Св+ П—3000 кгс+ Ст—450 °С	120	—	100	—	—	—	—	80
	15	Св. 08X21H10Г6 07X16H6 (ЭП288)	1020	Н—950 °С+Х+ Ст—450 °С+Св	75	—	55	—	—	—	16	—
				Н—950 °С+Св+ Н—950 °С+Х+ Ст—360 °С	115	—	—	—	—	—	7	—
	—	НИАТ-6АМ	1100	Н—950 °С+Х+ Ст—450 °С+Св	85	—	—	—	53	—	9	—
				Н—950 °С+Св+ Н—950 °С+Х+ Ст—450 °С	117	—	—	100	90	—	3	—
	08X15H7ЮМ2 (CH4, ЭП35)	До 1,5	—	1020	Н—925 °С+Св	80	—	—	50	—	—	—
До 3,0		Св. 08X21H10Г6	Н—925 °С+Х+ Ст—500 °С+Св		75	—	—	—	—	—	—	—

Марка материала	Толщина, мм	Марка присадочной проволоки, электродов	Способ сварки	Состояние материала до и после сварки	Предел прочности, кгс/мм ² при температуре, °C						Ударная вязкость, кгс·м/см ² , не менее	Угол загиба, град.
					20	200	300	400	500	600		
X15H5Д2Т (ВНС-2, ЭП410, ЭП410У)	До 20	—	1020	H—950 °C+ CT—450 °C+Св	115	—	100	—	—	—	—	80
				H—950 °C+Св+ CT—450 °C	120	—	110	—	—	—	—	70
				H—950 °C+Св+ H—950 °C+ CT—450 °C	125	—	118	—	—	—	—	90
	1,5—3,0	ЭП659 или ЭП410У	1020	H—950 °C+Св	112	—	100	—	—	—	—	60
				H—950 °C+Св+ H—950 °C+ CT—450 °C	125	—	115	—	—	—	—	80
				H—1000 °C+Св	106	—	100	—	—	—	12	—
1Х20Н6НД2Т (ВНС-4, ЭП309)	До 20,0	ЭП659А	1020	H—950 °C+Св+ H—1000 °C+ CT—425 °C	120	—	105	—	—	—	7	—
				H—950 °C+ CT—450 °C+Св	78	—	55	—	—	—	16	—
				Св. 08Х21Н10Г6	78	—	55	—	—	—	16	—
	До 3,0	—	1020	H—1050 °C+ CT—500 °C+Св	75	—	—	—	—	—	—	160
				H—1050 °C+Св+ H—1050 °C+ CT—500 °C	85	—	—	—	—	—	—	120
				H—1050 °C+Св+ H—1050 °C+ CT—500 °C	78	—	—	—	—	—	—	150
1Х15Н4АМЗ (ВНС-5, ЭП310)	До 2,0	Св. ВНС-5	1020	H—1070 °C+Св+ H—1070 °C+X+CT —350 °C	118	—	110	—	—	—	5	—
	До 6,0	Св. 08Х21Н10Г6		H—1070 °C+X+ CT—350 °C+Св	80	—	55	—	—	—	—	—
	До 12,0	Св. 08Х21Н10Г6		H—1070 °C+X+ CT—350 °C+Св	70	—	55	—	—	—	16	—
	12,0—20	Св. 08Х21Н10Г6		H—1070 °C+X+ CT—350 °C+Св	65	—	50	—	—	—	16	—
	—	Н13	1100	H—1070 °C+Св+ H—1070 °C+X+ CT—450 °C	120	—	110	—	85	—	4,0	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
06Х14Н6Д2МБТ (ЭП817)	До 40,0	ЭП-659А	1020	H—1000 °C+Св	103	—	93	—	—	—	12	—
ВТ20	3	—	1020. АО	—	102	83	80	72	68	62	—	—

Таблица XIV.5.35

Прочность сварных соединений нержавеющей аустенитных и хромистых сталей

Марка материала	Марка присадочной проволоки	Состояние материала до и после сварки	Предел прочности σ_b , кгс/мм ² , при T, °C					
			—196	—60÷—70	20	400	500	600
12X17Г9АН4 (ЭИ878)	Св. 06X19Н9Т Св. 08X20Н9Г7Т	З+Св	—	—	75—80	—	47—49	44—46
11X11Н2В2МФ (ЭИ962)	—	О+Св+З+ +Оп—475 °C	174—189	—	—	131—133	—	—
	Св. 10X11НВМФ	»	130—180	120—155	128,5—142	127—134	—	—
1X12Н2ВМФ (ЭИ961)	Св. 10X11НВМФ	О+Св+ +Оп—700° C	—	—	—	71—74	62—68	40—46
14X17Н2 (ЭИ268)	ЭИ268	З+Св	—	—	85	71	63	33

Таблица XIV.5.36

Прочность на отрыв сварных соединений, выполненных точечной сваркой, при повышенных температурах

Материал	Сочетание толщин, мм	Диаметр ядра точки, мм	Разрушающая нагрузка на одну точку, кгс, при T, °C			Материал	Сочетание толщин, мм	Диаметр ядра точки, мм	Разрушающая нагрузка на одну точку, кгс, при T, °C		
			20	200	300				20	200	300
Д16АТВ	0,8+0,8	4,0	60	50	55	МА8М	1,5+1,5	8,0	100	119	100
	1,0+1,0	5,0	80	90	95		1,8+1,8	8,0	115	155	180
	2,0+2,0	8,0	300	325	272		2,0+2,0	8,0	130	125	120
В95АТВ	1,8+1,8	8,0	197	283	253		3,0+3,0	10,0	260	270	260
	2,0+2,0	8,5	230	298	250		3,0+3,0	8,0	180	320	200
	3,0+3,0	10,0	400	497	540						
	4+4	12,0	610	832	830						

Таблица XIV.5.37

Выносливость сварных стыковых соединений при повторно-статических нагрузках растяжением

Материал	Способ сварки	Присадочный металл (числитель), флюс или обмазка (знаменатель)	Состояние после сварки	Напряжение кгс/мм ² , при		$K = \frac{\sigma}{\sigma_{шва}}$	Число циклов до разрушения
				$N=20^3$ циклов	σ		
30XГCH2A (30XГCHNA)	1050.АО	<u>Св. 18ХМА</u> АН-1К	ТО до $\sigma_B=170 \pm$ ± 10 кгс/мм ²	—	67,1	0,7	<u>7572—28841</u> 15363
				—	47,9	0,5	<u>62606—86873</u> 77335
		<u>Св. 18ХМА</u> АН-15		—	67	0,7	<u>19734—68665</u> 46961
				—	48	0,5	<u>29662—113869</u> 79173
		<u>Св. ОХ4МА</u> АН-15		—	115	0,7	<u>4280—9250</u> 6765
				—	66	0,5	<u>19050—50000</u> 35487

Материал	Способ сварки	Присадочный металл (числитель), флюс или обмазка (знаменатель)	Состояние после сварки	Напряжение кгс/мм ² , при		$K = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{шва}}}$	Число циклов до разрушения
				$N=20^3$ циклов	σ		
30ХГСН2А (30ХГСНА)	1050.АО	Св. 18ХГСА АН-15	ТО до $\sigma_B=170 \pm$ ± 10 кгс/мм ²	— —	70,3 61	0,7 0,6	17927—36025 26758 41608—46203 43935
30ХГСН2А	1100	Св. 18ХМА ВИ-10-6	ТО до $\sigma_B=170 \pm$ ± 10 кгс/мм ²	—	67,1 47,9	0,7 0,5	8000—35574 23274 55360—94072 72127
40ХН2СВА	1050.АО	Св. ОХ4МА АН-15	ТО до $\sigma_B=200 \pm$ ± 10 кгс/мм ²	—	119,5	0,8	4403—14525 9184
40ХН2СВА+ 30ХГСН2А					121,4		1858—3840 2427
40ХН2СВА+ 18ХНВА					86,9		18080—27389 22772
1Х15Н4АМ3 (ВНС5)		Св. 1Х15Н4АМ3 АВ-5	Н—1050 °С+Х+ Ст—350 °С—1 ч	85	—	—	—
		Св. 1Х15Н4АМ3 ФКН-3		75			
30Х2ГСН2ВМ		Св. ВЛ1-Д АН-15	ТО до $\sigma_B=160$ кгс/мм ²	90			
ОТ4 л. 1, 2; л. 1, 5	1520.АО	Без присадки	Без ТО	50—54			
				65			
ВТ20 л. 1,2	1620.АО			76			
		ВТ20-2 Св		60			
	СПТ-2 Св	56					
ВТ20+ОТ4 л. 3, 0	1520.АО	Без присадки		43—48			
ВТ20+ВТ14 л. 3, 0				60			

Таблица XIV.5.38

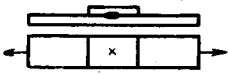
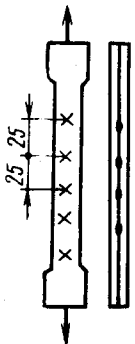
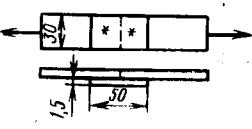
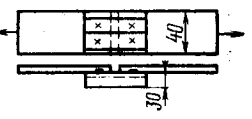
Выносливость сварных стыковых соединений при повторно-статических нагрузках изгибом

Материал	Способ сварки	Присадочный материал (числитель), флюс или обмазка (знаменатель)	Состояние после сварки	Напряжение σ , кгс/мм ²	$K = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{шва}}}$	Число циклов до разрушения
30ХГСН2А (труба 96×76 мм с подкладкой из стали 20)	1050.АО	<u>Св. ОХ4МА</u> АН-15	ТО до $\sigma_{\text{в}}=170\pm$ ± 10 кгс/мм ²	145,3 98,1 58,8	0,7 0,5 0,3	1055 2032 7425—10000
30ХГСН2А (с подкладкой из стали 30ХГСН2А)				148,5 106,1 63,7	0,7 0,5 0,3	545 1595 5190—7654
30ХГСН2А (подкладка сфрезерована)				170 146,4	0,7 0,6	4252—7512 10152—10840
40ХН2СВА (труба Ø106×13 мм)		<u>Св. ОХ4МА</u> АН-15	ТО до $\sigma_{\text{в}}=200\pm$ ± 10 кгс/мм ²	95,6 83,3	0,5 0,4	6936—10813 9145 22790—32403 27250
30ХГСН2А (труба Ø96×76 мм)	1100	<u>Св. 18ХМА</u> ВИ-10-6	ТО до $\sigma_{\text{в}}=170\pm$ ± 10 кгс/мм ²	82 66		1539—2304 1997 5288—7681 6650

Таблица XIV.5.39

Предел выносливости сварных соединений, определенный на образцах ($N^* = 10^7$), кгс/мм²

Вид соединения (образца)	Марка материала	Способ сварки	Толщина листа, мм	Напряжение $\sigma_{\text{макс}}$, кгс/мм ²	
				при знакопеременном изгибе ($r^{**} = -1$)	при асимметричном растяжении ($r = 0,1$)
Стандартный	12Х18Н10Т	1620.АО	1,5	20—25	
		1230.АО			25
		2200			7—8
		2100			2
	12Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654)	1620.АО	2	27	—
		1230.АО			16—20
		2200			5—7
		2100			2,7
	ВТ1-0	1520.АО	1,5	25—28 6,0	20
		1520.ОР			—
		2200			5,0
		2100			3,0
	30ХГСА	1230.АО	2,5		45—53
		2100	1,5		2,0
	ВТ5-1	1520.АО	1,5		18
		2200			6
	ВТ20	1520.АО	3	26—34 20	—
		1620.АО			—

Вид соединения (образца)	Марка материала	Способ сварки	Толщина листа, мм	Напряжение $\sigma_{\text{макс}}$, кгс/мм ²	
				при знакопеременном изгибе ($r^{**}=-1$)	при асимметричном растяжении ($r=0,1$)
	ОТ4+ВТ6С	1520.АО	3,0	30	—
	ОТ4+ВТ5-1	1520.АО	3,0	24	—
	ОТ4+ВТ20	1520.АО	3,0	34	—
	ВТ20+ВТ6С	1520.АО	3,0	28—30	—
	09Х15Н8Ю (СН2)	2100	1,5	—	3—4
	АМг6	1620.АО	2	—	6—12
		2100			2,4
	Д16Т	2100	2	2,1	2,1
			1,5	—	2,0
		2101	1,5		4,5
	МА2-1	2100	1,5		1,0
		2101	1,5		2,5
	МА8	2100	3,0		0,55
		2100	2,0		1,0
	12Х18Н10Т	2100	1,5		15—16
	АМг6		2,0		6,5
	Д16Т		2,0	9,0	9,0
	ВТ1-0		1,5		8
		2100 (лист с угол- ками)			9,5
	12Х18Н10Т	2100	1,5		28
	12Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654)		1,5		28
	30ХГСА		1,5		28
	ВТ1-0, ВТ5-1		1,5		12
	08Х17Н5М3 (СН3)		1,5		20
	09Х15Н8Ю (СН2)		1		20
	АМг6		2	8,0	10,5
	Д20		2		8,5
	Д16Т		2	8,0	8,0
	12Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654)	2100	1,5		2,55
	ОТ4-1, ВТ1-0		1,5		1,5
	08Х17Н5М3 (СН3)		1,5		2,0
	АМг6		1,5		1,0
	ВТ1-0	2100	1,5		1,6
	Д16Т	(одноряд- ный)	2		4,0—4,4
	АМг6				2,4
	МА8	2100	3		1,25
	Д16Т	(двухряд- ный)	2	4,5	4,5
					

* N — база испытаний.

** r — коэффициент асимметрии цикла нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

- Дуговая сварка алюминиевых сплавов в среде инертных газов. ПИ-113—75. НИАТ, 1980.
- Дуговая сварка в среде защитных газов конструкционных, жаропрочных, нержавеющих сталей и сплавов. ПИ-75—79. НИАТ, 1980.
- Дуговая сварка сплавов титана в среде защитных газов. ПИ-126—77. НИАТ, 1979.
- Сварка автоматическая под флюсом узлов из высокопрочных, конструкционных и нержавеющих сталей и контроль качества соединений. ПИ-123—77. НИАТ, 1980.
- Сварка дуговая штучными электродами изделий из конструкционных, нержавеющих, жаропрочных сталей и сплавов. ПИ-77—77. НИАТ, 1979.
- Дуговая сварка трубопроводов из нержавеющих сталей в среде защитных газов. ПИ-1.4.748—80. НИАТ, 1982.
- Сварка трубопроводов из сплавов титана. ПИ-1.4.287—77. НИАТ, 1979.
- Сварка электрошлаковая крупногабаритных изделий. Высокопрочные конструкционные стали. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы. ПИ-124—81. НИАТ, 1981.
- Сварка контактная точечная и шовная алюминиевых, магниевых и медных сплавов. ПИ-1.4.852—81, НИАТ, 1982.
- Сварка контактная точечная и шовная сталей, жаропрочных и титановых сплавов. ПИ-1.4.853—81, НИАТ, 1982.
- Сварка металлов и сплавов электронным лучом в вакууме. РТМ-1177. НИАТ, 1968.
- Автоматическая сварка закрытой сжатой дугой нержавеющей сталей, жаропрочных и титановых сплавов. ПИ-1.4.470—78. НИАТ, 1980.
- Производство гидравлических, газовых и топливных систем. РТМ-1120. Изд. 2-е. НИАТ, 1969.
- Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. НИАТ, 1972.
- Николаев Г. А. Сварные конструкции. М., Машгиз, 1967.
- Прохоров Н. Н. Технологическая прочность металлов при сварке. М., Машгиз, 1968.
- Сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов сосудов из тонколистовых высокопрочных сталей. РТМ-1166—81, НИАТ, 1982.
- Атомноводородная сварка конструкционных и нержавеющих сталей. ПИ-72—70. НИАТ, 1970.
- Сварка газовая конструкционных и нержавеющих сталей. ПИ-1.4.873—81.
- Точечная и шовная сварка деталей неравной толщины из сталей и сплавов в узлах упругих элементов. РТМ-1.4.416—78. НИАТ, 1980.
- Сварка точечная деталей из сталей и сплавов с уменьшенными размерами элементов соединений. РТМ-1536—76. НИАТ, 1978.
- Сварка рельефная сталей и сплавов. ТР-302—70. НИАТ, 1971.
- Сварка контактная стыковая оплавлением колец из титановых сплавов. ПИ-262—75. НИАТ, 1976.
- Чулошников П. Л. Точечная и роликовая электро-сварка легированных сталей и сплавов. М., «Машиностроение», 1974.
- Сварка контактная стыковая оплавлением колец из конструкционных, коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов. ПИ-270—75. НИАТ, 1976.
- Гилевич В. А. Технология и оборудование рельефной сварки. Л., «Машиностроение», 1976.
- Справочник номенклатурный серийного и опытного сварочного оборудования на 1976—1980 гг. НИАТ, 1977.
- Контактная точечная сварка алюминиевых и магниевых сплавов с применением клеев, грунтов и паст. РТМ-1486—74. НИАТ, 1976.
- Сварные соединения. Унификация типов и обозначений. Рекомендации, ВНИИНМАШ, 1977.
- Перечень процессов сварки, пайки, пайки—сварки и процессов пайки мягким припоем для металлов для символических обозначений на рисунках. Международная организация стандартов, 1976.

Глава 6. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Среди технологических процессов, широко применяемых в современном авиационном производстве, видное место занимает пайка. Она используется для изготовления не только отдельных деталей, но и целых узлов и сложных крупногабаритных изделий. За последние годы технические возможности выполнения соединений пайкой значительно расширились: этому способствуют такие методы, как пайка в печах с нейтральной или восстановительной средой, в вакууме с нагревом в печах и электронно-лучевых установках, с использованием индукционного нагрева, с помощью ультразвука и др.

Применение пайки в печах и индукционной пайки дает возможность автоматизировать весь процесс, выполнять одновременно от одного до множества спаев в одном изделии, паять за один прием большое число изделий или непрерывно большую партию деталей.

Разработаны оборудование для пайки, припой со специальными свойствами, газовые среды, специальные нагревательные установки для пайки крупногабаритных изделий. Успешно решаются задачи пайки нержавеющих сталей, жаропрочных, титановых и алюминиевых сплавов, а также металлов с керамикой, графитом и полупроводниками. Большое внимание уделяется пайке тугоплавких металлов: молибдена, ниобия, тантала и вольфрама.

Как в отечественном, так и в зарубежном самолетостроении появились специальные конструкции, изготавливаемые в настоящее время только методом пайки, например слоистые панели с сотовым или гофрированным заполнителем. После механической обработки детали, полученные прокаткой, прессованием, штамповкой или литьем, с помощью пайки можно соединять в сложные узлы и конструкции, что дает высокий коэффициент использования металла. Паяные узлы можно подвергать различным способам обработки, исключая ухудшение свойств паяного шва.

В данной главе обобщены материалы по технологичности деталей, подвергаемых пайке, на основе исследований, проведенных НИАТом совместно с ОКБ и заводами.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Выбор способа пайки

Способ пайки в каждом конкретном случае выбирают учитывая тип припоя, форму паяного соединения, материалы, общие габаритные размеры изделия, наличие необходимого оборудования и массовость производства. Характеристики способов пайки приведены в табл. XIV.6.1.

Таблица XIV.6.1

Характеристика способов пайки

Способ пайки	Преимущества	Недостатки
Паяльниками: а) электрическими б) плазменными	Универсальный способ пайки низкотемпературными припоями Возможность пайки серебряными припоями при локальном нагреве	Ручной процесс. Отсутствие объективного контроля за режимом пайки. Необходимость удаления флюса после пайки
Газовой горелкой	Универсальный способ пайки высокотемпературными припоями. Низкая стоимость оборудования	Ручной процесс. Отсутствие объективного контроля за режимом пайки. Окисление поверхности паемого изделия. Необходимость удаления флюса после пайки
Индукционный	Быстрый нагрев. Возможность механизации и автоматизации	Применим для изделий простых форм и небольших размеров
В печах с флюсом	Универсальный способ. Равномерный нагрев и точное регулирование режима пайки. Минимальная деформация изделий. Возможность механизации	Необходимость удаления флюса после пайки. Окисление поверхности паемого изделия. Невозможность высокотемпературной пайки изделий из жаропрочных сплавов, титана, тугоплавких металлов
В печах в контейнерах с инертным газом	Универсальный способ высокотемпературной пайки. Равномерный нагрев и точное регулирование режима пайки. Минимальная деформация изделия. Отсутствие окисления и флюса на паемом изделии. Возможность объективного контроля режима пайки. Возможность пайки крупногабаритных изделий сложной формы	Необходимость точной сборки деталей и применения сложной оснастки. Длительное пребывание изделия при высокой температуре. Большой расход металла, затраты ручного труда на изготовление контейнеров и проведение подготовительных операций
В вакуумных печах	Универсальный способ высокотемпературной пайки. Минимальная деформация изделий. Отсутствие окалины и флюса на паемом изделии. Возможность объективного контроля режима пайки	Ограниченные размеры изделий. Длительный цикл процесса. Необходимость точной сборки. Ограниченный выбор припоев
Сканирующим электронным лучом	Возможность локализации нагрева в зоне пайки изделия. Сокращение цикла пайки по сравнению с нагревом в вакуумных печах. Отсутствие ограничений по температуре нагрева. Возможность механизации и автоматизации	Высокая стоимость оборудования. Сложная эксплуатация оборудования. Имеет ограничения по форме изделий в связи с плоскостным характером нагрева. Требует сложной технологической подготовки
Пайка погружением: а) в расплаве флюса б) в расплаве припоя	Быстрый нагрев паемых деталей. Точная регулировка температуры. Благоприятные условия для формирования паяных соединений Быстрый нагрев паемых деталей. Точное регулирование температуры. Возможность пайки большого количества соединений за одну операцию	Плохие условия труда. Трудоемкость удаления остатков флюса. Опасность развития коррозии при наличии остатков флюсов. Большой расход дорогостоящего флюса. Загрязнение припоя. Большой расход припоя. Процесс осуществим только для низкотемпературной пайки

Пайка материалов, применяемых в самолетостроении

В самолетостроении для изготовления узлов пайкой используют главным образом следующие материалы и их сочетания: медь и ее сплавы; нержавеющие и высокопрочные стали; титан и его сплавы; алюминий и его сплавы.

Медь и ее сплавы

Медь и ее сплавы относятся к хорошо паяемым металлам и паяются всеми известными способами. Пайка меди и некоторых ее сплавов в газовых средах, содержащих водород, не рекомендуется, так как это приводит к водородной хрупкости меди. Медные сплавы, легированные такими активными

металлами, как алюминий, бериллий, хром и т. п., рекомендуется перед пайкой покрывать слоем никеля или меди толщиной 5—10 мкм. При пайке алюминиевых бронз допускается также использовать флюсы типа 200, 209 с добавкой 10—20% кремнефтористого натрия или 50% флюса для пайки алюминия.

Нержавеющие высокопрочные стали

Пайка сталей осуществляется всеми способами с применением рекомендованных ниже припоев и флюсов. Затруднения в процессе пайки встречаются только в тех случаях, когда легирующие элементы, например хром, алюминий, титан, кремний, образуют на поверхности стали устойчивые окислы, не смачиваемые припоем. Нержавеющие стали, содержащие до 20% хрома (стали марок 1X13, 2X13, X17H2 и т. п.), паяются в вакууме и аргоне. Сталь типа X18H10T, содержащие хром и небольшое количество титана (ЭИ811, ВНС-2 и т. п.), в вакууме и аргоне паяются удовлетворительно, но несколько хуже, чем стали, содержащие только хром. Пайка в вакууме или аргоне сталей, содержащих хром и алюминий (стали типа СН-2, СН-4 и т. п.), представляет определенную трудность. Эти стали рекомендуется паять в атмосфере аргона с газовым флюсом.

Титановые сплавы

Титановые сплавы весьма активны и хорошо смачиваются различными припоями. Однако известны трудности, связанные с пайкой титана: энергичное взаимодействие с кислородом атмосферы пайки, а также почти со всеми элементами, входящими в состав припоев, что приводит к охрупчиванию паяных соединений. Эти трудности заставляют в каждом отдельном случае изыскивать технологию пайки применительно к той или иной конструкции паяных узлов или деталей. Во всех случаях титан из-за его высокой активности следует паять в вакууме с остаточным давлением не выше 10^{-4} мм рт. ст. или в аргоне высокой степени очистки.

В настоящее время существует несколько методов пайки титана с применением:

— припоев на основе серебра, обеспечивающих при пайке в атмосфере аргона и вакуума $\tau_{ср} = 12—20$ кгс/мм²;

— покрытий из меди или меди и циркония, нанесенных гальваническим и термовакуумным способами и обеспечивающих $\tau_{ср}$ до 40—50 кгс/мм²;

— припоев на основе титана, обеспечивающих получение $\tau_{ср} = 40—45$ кгс/мм².

Алюминий и его сплавы

Трудности, возникающие при пайке алюминиевых сплавов, обусловлены существованием на их поверхности стойкой, плотной и эластичной окисной пленки, а также малой коррозионной стойкостью некоторых алюминиевых сплавов и паяных соединений из них. Пайка алюминия и его сплавов при температуре свыше 400 °С производится с помощью флюсов с нагревом в пламени паяльных ламп, газовых горелок, в электропечах или ТВЧ, а также во

флюсовых ваннах. При этом процесс пайки рекомендуется осуществлять в условиях строгого температурного контроля с перепадом температур не выше $\pm 5—7$ °С. Пайку алюминия при температуре ниже 400 °С рекомендуется осуществлять двумя способами:

— абразивным, который предусматривает механическое удаление окисной пленки с поверхности алюминия в процессе ее нагрева и облуживания расплавленным припоем;

— ультразвуковым, при котором окисная пленка с поверхности алюминия удаляется с помощью ультразвука; для ультразвуковой пайки применяются паяльники типа УП-21 и установки для пайки и лужения типа УП-31.

Паяные швы, полученные с помощью низкотемпературных припоев, необходимо защищать лакокрасочными покрытиями, так как они являются коррозионно нестойкими.

Применение припоев и флюсов

Припой

Для получения качественного паяного соединения необходимо правильно выбрать припой, учитывая его технологические характеристики: способность взаимодействовать с основным металлом (смачивать его и растекаться по нему, растворять его или растворяться в нем, затекать в зазор при выбранном способе пайки). При выборе припоя должны учитываться также условия эксплуатации изделия: рабочие температуры, испытываемые нагрузки.

Одной из важнейших характеристик припоя, определяющей как назначение, так и способ его применения, является температура плавления припоя. По этому признаку припой разделяется на высокотемпературные с температурой плавления выше 450 °С и низкотемпературные с температурой плавления ниже 450 °С.

Высокотемпературные припои рекомендуются применять для пайки изделий, работающих при сравнительно высоких температурах. Они обеспечивают прочность соединений до 50 кгс/мм². В табл. XIV.6.2 приведены примеры рекомендуемых припоев для высокотемпературной пайки.

Примечания:

1. При выборе припоя следует руководствоваться перечнем-ограничителем марок припоев, рекомендуемых к использованию в опытно-производстве изделий авиационной техники на 1977—1981 гг. ВИАМ, 1976 г.

2. Химический состав и физико-химические свойства припоев приведены в справочнике по авиационным материалам, т. 1, 1964 г.; т. VI, 1974 г. (ВИАМ).

Низкотемпературные припои характеризуются невысокой твердостью и сравнительно низкими механическими свойствами, поэтому их рекомендуется применять для пайки тех изделий, которые будут работать при невысоких температурах и от которых не требуется высокой прочности, например в электрокоммуникациях. Вследствие хорошей способности этих припоев смачивать поверхности большинства металлов их можно применять для пайки большой группы металлов, и прежде всего, железа, меди и их сплавов.

Высокотемпературные припой

Марка припоя	Система припоя	Температура плавления, °C		ГОСТ или ТУ	Краткая характеристика припоя и рекомендации по применению
		начало	конец		
ВПр1	Cu—Ni	1080	1120	АМТУ-538—68	Теплостойкие для пайки трубопроводов и других узлов из нержавеющей сталей
ПЖ45-81	Cu—Ni	1150	1200	—	
ВПр2	Cu—Mn—Ni	960	970	—	Самофлюсующий для пайки узлов из нержавеющей сталей
ВПр4	Cu—Ni—Mn	940	980	АМТУ-539—68	Самофлюсующий для пайки трубопроводов и других узлов из нержавеющей сталей
ВПр13 (ПСрМцМн23)	Cu—Ag—Mn—Ni	850	910	ТУ 48-0714-10—73	Самофлюсующий для пайки сотовых панелей из нержавеющей сталей переходного аустенитно-мартенситного класса
ПМ17А	Cu—Ni—Mn—Ag	870	940	ТМТУ-0867—68	Самофлюсующий для пайки деталей из медных сплавов и нержавеющей сталей
Л63	Cu—Zn	900	905	ГОСТ 15527—70	Для пайки стальных труб и других стальных изделий ответственного назначения. При пайке сталей, находящихся под действием внешних или внутренних растягивающих напряжений (нагартовка, неравномерный нагрев, жесткое крепление), возможно хрупкое их разрушение
ПСр25ф	Cu—Ag—P	645	725	ГОСТ 19738—74	Для пайки деталей из меди и ее сплавов
ПСр25	Cu—Zn—Ag	740	775	ГОСТ 19738—74	Для пайки трубопроводов из конструкционных и нержавеющей сталей
ПСр40	Ag—Cu—Zn—Cd	590	610	ГОСТ 19738—74	Для пайки деталей из конструкционных и нержавеющей сталей, меди и латуни
ПСр45	Ag—Cu—Zn	665	730	ГОСТ 5-1074—71	Для пайки деталей из конструкционных и нержавеющей сталей, меди и латуни
ПСр72	Ag—Cu	779	779	ГОСТ 19738—74	Для пайки деталей из стали, меди и медных сплавов с высокой вакуумной плотностью и электропроводностью
ПСрМин63	Ag—Cu—In	750	760	ТУ 48-1-329—74	Для пайки деталей из титановых сплавов и некоторых нержавеющей сталей. Обеспечивает вакуумно-плотные соединения
ВПр17	Cu—Ag—Zn—Ni	950	990	ТУ 48-0714-16—74	Для пайки трубопроводов из нержавеющей сталей
ВПр15	Ag—Cd—Cu—Al—Mg	860	880	ТР 6-951	Для пайки деталей из титановых сплавов
ВПр16	Ti—Cu—Zr—Ni	910	920	ТР 6-973	То же

Особое положение занимают припой системы Sn—Zn, которые применяются только для низкотемпературной пайки алюминия. Рекомендации по применению низкотемпературных припоев приведены в табл. XIV.6.3.

Вопрос о выборе припоя для пайки деталей, подвергаемых последующему гальванопокрытию, необходимо согласовывать с ВИАМом в каждом конкретном случае.

Флюсы

При проведении процесса пайки на воздухе применяют флюсы, которые восстанавливают окислы, защищают основной металл и припой от окисления, способствуют смачиванию поверхности припоем и хорошему растеканию последнего.

Рекомендации по применению флюсов для пайки высокотемпературными припоями приведены в табл. XIV.6.4.

Таблица XIV.6.3.

Низкотемпературные припой

Марка припоя	Система припоя	Температура плавления, °C	Краткая характеристика и рекомендации по применению
Олово чистое 02, 03	Sn	232	Высокая коррозионная стойкость припоя. Для лужения и пайки деталей и электрокоммуникаций, работающих во всеклиматических условиях эксплуатации без дополнительной антикоррозионной защиты
ПОС-90	Sn—Pb	183—220	Для пайки деталей, подвергающихся в дальнейшем гальваническим покрытиям (серебрение, золочение)
ПОССу61-0,5	Sn—Pb	183—189	Для пайки деталей, не допускающих высокого нагрева в зоне пайки; для пайки монтажных соединений обмоточных проводов диаметром 0,05—0,08 мм, сопротивлений, конденсаторов и т. д.; монтажных проводов с хлорвиниловой изоляцией; для вторичных ступенчатых паяк, расположенных рядом с пайками, выполненными более тугоплавкими припоями (например, ПОС-40); для пайки герметичных швов, например, стеклянных и керамических выводных изоляторов, а также для паяк специального назначения, когда требуется повышенная электропроводность и механическая прочность; для ответственных паяк в электротехнике и приборостроении
ПОССу40-0,5	Sn—Pb	185—229	Для пайки радиаторов, электро- и радиоаппаратуры, электромонтажных работ
ПОССу30-0,5	Sn—Pb	185—250	Для лужения деталей радиаторов, подшипников, заливаемых свинцовыми баббитами, для пайки медных проводов
ПОССу4-6	Sn—Pb	244—270	Для лужения стали, пайки деталей, не подвергающихся ударным нагрузкам
ПСрМ05 (ВПр9)	Ag—Sn—Sb—Cu	215—240	Для изделий, работающих во всеклиматических условиях эксплуатации без дополнительной антикоррозионной защиты
ПСр0Су8 (ВПр6)	Ag—Sn—Sb	235—250	паяного шва (в основном для электромонтажа бортовых систем)
ПСрИН1,4 (ВПр18)	Ag—Sn—Pb—In	295—305	
ПОСК50-18	Sn—Pb—Cd	142—145	Для понижения температуры пайки из-за опасности перегрева деталей, а также для «ступенчатых» паяк
Сплав РОЗе	Sn—Pb—Bi	93—96	Механическая прочность припоев незначительна, так как висмутовые припой обладают большой хрупкостью
Сплав Вуда	Sn—Pb—Bi—Cd	66—70	Для пайки радиаторов, деталей электрических машин. Электроконтактный способ нагрева (угольными электродами)
ПСрЗКД	Ag—Cd	314—342	Для пайки деталей и электромонтажных соединений, работающих при температурах до 200 °C
ПСр2; 5	Ag—Sn—Pb	295—300	Для ультразвуковой пайки алюминиевых (в ваннах или паяльником) деталей и электрорадиоаппаратуры
П250А	Sn—Zn	200—250	
П200А	Sn—Zn	189—210	
102	Sn—Zn	199—355	Для абразивной пайки алюминиевых проводов

Таблица XIV.6.4.

Флюсы для высокотемпературной пайки

Флюс	ГОСТ или ТУ	Припой	Рабочий интервал температур, °C	Основной металл
200	ТУ-38-399—65	На основе меди, марганца, никеля	850—1150	Нержавеющие стали, жаропрочные стали и сплавы
201	СТУ 38-400—65	То же	850—1150	То же
BF ₃	—	»	800—1200	»
HF	—	»	800—1200	»
284	СТУ 38-401—65	На основе серебра	500—850	Нержавеющие стали, медь и медные сплавы
209	ТУ 48-4-323—75, марка Б	»	600—850	То же
Ф34А	ТУ 48-4-229—72	АЛ2	420—620	АД1, АМц, АВ, АМг
ВФ-11	ТУ 6-02-1007—75	АЛ2, 34А	590—640	»

Примечание. Химические составы флюсов приведены в «Справочнике по пайке». Под ред. С. Н. Лоцманова, И. Е. Петрунина, В. П. Фролова. М., «Машиностроение», 1975.

Флюсы, применяемые для пайки низкотемпературными припоями, могут быть разделены на три группы: бескислотные; активированные; кислотные, или активные.

Кислотные, или активные, флюсы интенсивно растворяют окисные пленки на поверхности основного металла и тем самым обеспечивают хорошую адгезию и, следовательно, высокую механическую прочность соединения. Остатки таких флюсов после пайки вызывают сильную коррозию соединения и основного металла, поэтому их рекомендуется применять при условии тщательной промывки и полного удаления их остатков с поверхности соединения.

Активированные флюсы рекомендуется применять для пайки металлов и сплавов, плохо подда-

ющихся пайке с бескислотными флюсами. Они ускоряют процесс пайки меди и медных сплавов.

Бескислотные флюсы можно использовать не только для пайки, но и для консервации подготовленных к пайке поверхностей в процессе межоперационного и складского хранения, так как их остатки не вызывают коррозию паяных соединений.

Бескислотные флюсы употребляют для пайки при температуре до 350 °С. Возможно повышение верхнего предела температурного интервала до 430 °С в случае применения скоростного нагрева под пайку (например, электроконтактный метод).

Рекомендации по применению флюсов для пайки низкотемпературными припоями приведены в табл. XIV.6.5.

Таблица XIV.6.5

Флюсы для пайки низкотемпературными припоями

Группа флюсов	Флюсы	Химический состав, %	Рабочий интервал температур, °С	Рекомендации по применению и краткая характеристика	Способ удаления остатков флюса
Кислотные	Хлористый цинк	Хлористый цинк — 25—30 Вода дистиллированная — 75—70	180—430	Для пайки железа, стали, меди, латуни, бронзы, свинца	Промывка в 5%-ном растворе кальцинированной соды, затем в проточной горячей воде, сушка в термостате
	ФИМ	Ортофосфорная кислота — 9 Спирт — 46 Вода — 45		Для пайки грубых деталей из черных металлов, меди, бронзы, латуни	Промывка в проточной горячей воде с последующей сушкой горячим воздухом
	Паста 15—85	Хлористый цинк — 15 Вазелин — 85	260—300	Для пайки деталей простой конфигурации из черных и цветных металлов	Промывка в бензине, затем в проточной горячей воде с последующей сушкой горячим воздухом
Бескислотные	К (ФК)	Канифоль — 100	150—350	—	—
	КЭ, СК (ФКСп)	Канифоль — 10—40 Спирт этиловый — 90—60	150—300	Для лужения и пайки деталей из меди и ее сплавов, а также покрытых Ag, Sn, Cd, для электромонтажных соединений. Активность удовлетворительная, коррозии не вызывает и на сопротивление изоляции не влияет, остатки можно не удалять	Протирка тампоном, кистью или щеткой, смоченными в спирте или в ацетоне.
	ФПП (ФПЭТ)	Смола полиэфирная (марок ПН-9 и ПН56-20) 20—30 Этилацетат — 80—70	250—300	Для консервации деталей до пайки; для деталей из меди и ее сплавов, а также покрытых Ag, Sn, Cd. Активность в процессе пайки удовлетворительная, остатки флюса имеют высокие диэлектрические и антикоррозионные свойства	Остатки флюса не удалять

Группа флюсов	Флюсы	Химический состав, %	Рабочий интервал температур, °С	Рекомендации по применению и краткая характеристика	Способ удаления остатков флюса
Активированные	ЛК-2	Хлористый аммоний — 1 Хлористый цинк — 3 Канифоль — 30 Спирт этиловый ректификат — 66	150—300	Для лужения и пайки деталей из меди и ее сплавов, никеля, углеродистой стали, оцинкованного железа	Протирка тампоном, кистью или щеткой, смоченными в спирте или в ацетоне
	Ф55	Гидразин солянокислый — 4 Этиленгликоль — 30 Спирт этиловый — 66 Гидразин гидрат до нейтральной реакции 1—2,5 мл на 100 г флюса	200—400	Для лужения и пайки деталей из меди и ее сплавов, никеля	—
	ВТС	Вазелин технический — 83 Триэтаноламин — 8,5 Салициловая кислота — 8,5 Спирт этиловый — 35 г	180—300	Для пайки меди и ее сплавов, константана, серебра, платины	Протирка тампоном, кистью или щеткой, смоченными в спирте или в ацетоне
	ЛТИ-120	Канифоль — 26 Спирт этиловый — 70 Триэтаноламин — 2 Солянокислый диэтиламин — 2	180—400	Для лужения и пайки деталей из углеродистой стали, меди и ее сплавов, а также деталей, покрытых Ag, Sn, Cd. Активность высокая	Протирка тампоном или кистью, щеткой, смоченными в спирте или в ацетоне. Остатки флюса удалять

Специальные среды

Специальные среды рекомендуется применять для получения паяных соединений с помощью высокотемпературных припоев без использования флюсов. К специальным средам относятся: вакуумная, нейтральная, восстановительная.

Применение вакуумной среды рекомендуется для пайки нержавеющей и конструкционных сталей, медных и титановых, а также алюминиевых сплавов. Пайку в вакууме можно производить в вакуумных печах, электронно-лучевых установках и в герметичных контейнерах, нагреваемых в печах с воздушной атмосферой. Нагрев в вакууме способствует очищению поверхности от окислов и загрязнений. При пайке в вакууме не рекомендуется применять припой, содержащие Zn, Cd и другие компоненты, легко испаряющиеся при нагреве в вакууме. Преимуществом пайки в вакуумных печах является возможность обеспечения стабильной технологической среды.

В качестве нейтральной атмосферы широко применяют аргон по ГОСТ 10157—73 и реже гелий.

Пайка в среде нейтральных газов производится в контейнерах или в печах со специальным муфелем, заполненным аргоном или гелием. При пайке титановых сплавов серебряными припоями и нержавеющей сталей самофлюсующими припоями

нагрев производится чаще всего в среде проточного газа.

Для пайки в восстановительной среде (водород, аммиак и т. п.) используются специальные печи и контейнеры с песчаным затвором.

При пайке в среде водорода следует учитывать взаимодействие его с паяемыми металлами: растворение водорода в металле при температурах пайки, образование гидридов или водяного газа, что может привести к охрупчиванию, неплотности в металле и т. д.

Пайка титана, циркония, ниобия, тантала в водороде не рекомендуется. Стали, содержащие большое количество хрома, требуют применения сухой восстановительной среды с точкой росы —50÷—60°С. Стали и сплавы, содержащие хром и титан, типа Х18Н10Т могут быть спаяны в среде водорода при точке росы —60°С. Однако водород взрывоопасен, поэтому рекомендуется применять газовую восстановительную среду, получаемую при диссоциации аммиака. Это азотноводородная смесь, содержащая 75% водорода (по объему) и 25% азота.

Прочность паяных соединений

Прочность паяного соединения определяется прочностью припоя и характером его взаимодействия с паяемым металлом. Определяемая при ис-

пытаниях образцов прочность паяного соединения зависит от конструктивного оформления соединения и прочности паяемого металла. Однако в связи с тем, что условия нагружения паяного соединения в образцах лишь приближенно соответствуют условиям работы паяного соединения в конструкции, данные испытаний образцов имеют ориентировочный характер. Более точные данные о прочности паяного соединения в конструкции, о его несущей способности могут быть получены при испытании макетов и изделий.

Основным способом определения прочности паяного соединения является испытание на срез нахлесточных плоских и телескопических образцов. Наиболее простым и широко применяемым является плоский нахлесточный образец, при испытании которого определяют временное сопротивление срезу (τ_v , кгс/мм²).

Результаты испытаний на срез паяных соединений из нержавеющей стали, титановых сплавов, меди, алюминия и их сплавов приведены в табл. XIV.6.6—XIV.6.9.

Таблица XIV.6.6

Временное сопротивление срезу τ_v паяных соединений нержавеющей стали

Марка припоя	Способ пайки	Паяемый металл	τ_v , кгс/мм ² , при температуре, °C			
			20	200	400	600
ВПр1	Газовой горелкой	12X18H10T	37—50	30—40	19—22	9—16
ПЖ-45	»	12X18H10T	45—47			18—19
ВПр2	В печи, в аргоне	12X18H10T	21—23	15—16 (300 °C)		
	»	CH-2	28—30	20—25	19—24	12—14
	В вакуумной печи	ЭИ835	38—43			
	Сканирующим электронным лучом	12X18H10T	32—34			
ВПр4	В печи, в аргоне	12X18H10T	33—40	29—33	26—31	13—18
	В вакуумной печи	ЭИ835	39—41			
ВПр13	В печи, в аргоне	12X18H10T	25—30			
ВПр13	В печи, в аргоне	CH-4	27—34		19 (300 °C)	
ПСр21,5	»	ВНС-2	35—44		20—24 (500 °C)	11—13
ПСр40	Газовой горелкой	12X18H10T	24—31			
ПСр45	»	12X18H10T	17—26			
ВПр10У	В вакуумной печи	12X18H10T	21—22			15—16

Таблица XIV.6.7

Временное сопротивление срезу τ_v паяных соединений титановых сплавов при температуре 20 °C

Паяемый материал — ОТ4. Способ пайки — в печи, в аргоне

Припой	τ_v , кгс/мм ²
ПСр72	12—20
ПСрМИН63	19—20
ВПр16	36—42*
АМц	8—9

* При длительной, более 20 мин, выдержке при температуре пайки.

Таблица XIV.6.8

Временное сопротивление срезу τ_v паяных соединений меди и медных сплавов при температуре 20 °C

Паяемый материал	Марка припоя	Способ пайки	τ_v , кгс/мм ²
Медь	ПОССу50-2	Паяльником	4—4,5
	ПОССу40-2		5,1—5,3
	ПСр2,5		2,9—3,8
	ПСр3Кд		3—5,5

Продолжение табл. XIV.6.8

Паяемый материал	Марка припоя	Способ пайки	τ_v , кгс/мм ²
Медь	ПСр25ф	Электроконтактный	10,0—10,5
	ПСр25	В пламени горелки с флюсом	18,8—25,5
	ПСр40		16,1—21,3
Латунь Л-62	ПОССу50-2	Паяльником	3,5—4,5
	ПОССу40-2		3,2—5,0

Таблица XIV.6.9

Сопротивление срезу τ_v паяных соединений алюминиевых сплавов при температуре 20 °C

Паяемый материал	Марка припоя	Способ пайки	τ_v , кгс/мм ²
АМц	АЛ2 34А	В печи с воздушной атмосферой с флюсом	9,0—9,5 8,0—11,0
АМг6	34А	В печи с воздушной атмосферой с флюсом	6,2
Д16Т	34А	Горелкой с флюсом	20,0

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ПАЯНЫХ УЗЛОВ

Конструирование паяных узлов

Конструкция соединения, подлежащего пайке, зависит от следующих факторов:

- основного материала и припоя;
- типов соединений;
- эксплуатационных требований: механической прочности, электропроводности, герметичности, характеристик при повышенных и отрицательных температурах.

1. При пайке разнородных материалов с различными коэффициентами термического расширения особое внимание при проектировании необходимо уделять тому, чтобы в соединении не возникли термические напряжения, которые могут вызвать разрушение основного металла или паяного соединения во время или после пайки.

2. При пайке различных конструкций существуют два основных типа соединений: внахлестку и встык. Для разных конструкций можно применять различные комбинации и варианты этих соединений.

Паяные соединения предпочтительно выполнять внахлестку. При этом площадь перекрытия можно изменять так, что прочность паяного соединения будет равна прочности металла, несмотря на более низкую удельную прочность паяного шва. Соединения встык, имеющие ограниченную соединяемую площадь, менее прочны, так как при этом проч-

ность материала шва меньше по сравнению с прочностью основного материала. Поэтому соединения встык в условиях больших статических, а также ударных нагрузок или сильной вибрации применять не рекомендуется.

3. Для увеличения площади при стыковых соединениях рекомендуется применять скошенные соединения, являющиеся разновидностью стыковых. Однако при пайке таких соединений трудно сохранить требуемое взаиморасположение соединяемых частей.

Т-образные и угловые соединения относятся к стыковым, и их также следует избегать, заме-

4. Конструкция паяного соединения должна быть такой, чтобы предотвратить концентрацию напряжений, вызывающих разрушение (рис. XIV.6.3).

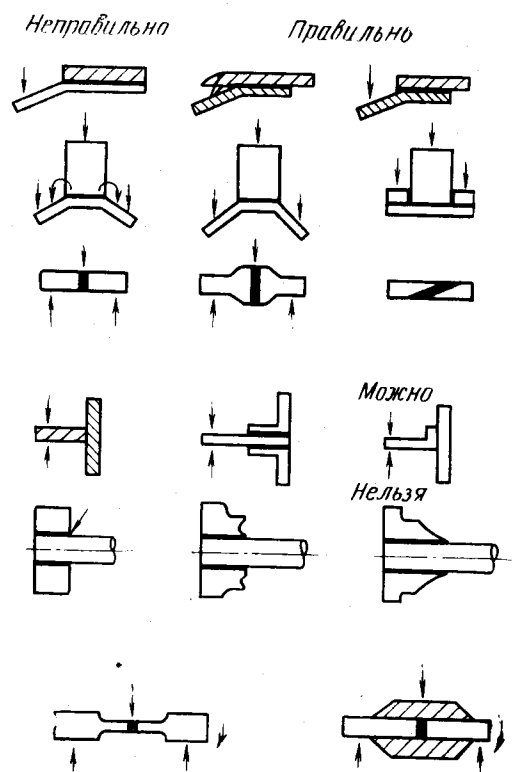


Рис. XIV.6.2. Правильные и неправильные конструкции паяных соединений.

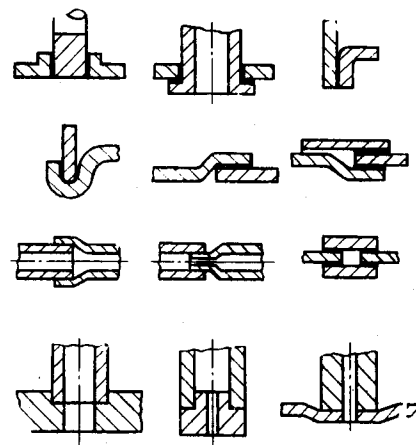


Рис. XIV.6.3. Типовые соединения паяных конструкций.

5. Величина соединительного зазора определяет толщину слоя припоя в паяном шве и является одним из основных факторов для получения максимальной прочности соединения. Когда производится пайка металлов с разными коэффициентами линейного расширения, соединительный зазор следует проектировать так, чтобы при температуре пайки он достиг требуемой величины.

Для каждого отдельного припоя в сочетании с основным металлом имеется оптимальный диапа-

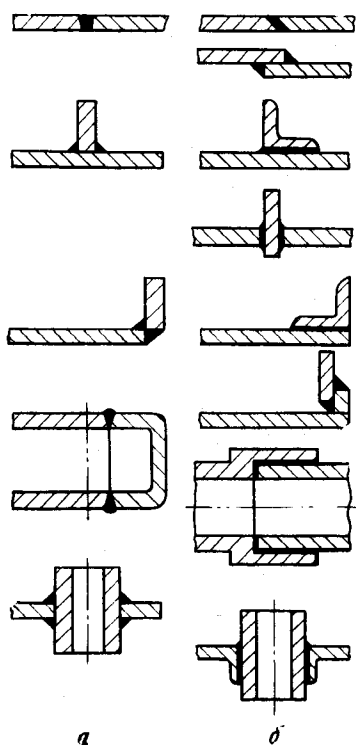


Рис. XIV.6.1. Сварные (а) и паяные (б) соединения.

ния соединениями внахлестку (рис. XIV.6.1, XIV.6.2).

Типовые паяные соединения, представленные на рис. XIV.6.2, обеспечивают высокую механическую прочность.

зон значений зазора, при которых получают наиболее прочные соединения. В табл. XIV.6.10 указана величина зазора для ряда групп припоев, рекомендуемых при конструировании паяных соединений, дающих максимальную прочность. Эти размеры следует выдерживать при температуре пайки.

9. При проектировании глухих отверстий под пайку необходимо также предусматривать вентиляционные отверстия. На рис. XIV.6.6 представлены различные конструкции соединений с вентиляционными отверстиями для отвода расширяющихся при нагреве газов.

Таблица XIV.6.10

Зазоры при пайке разных материалов

мм

Припой	Зазоры для основных материалов				
	меди	медных сплавов	стали	алюминиевых сплавов	титана и его сплавов
Медь	—	—	0,001—0,05	—	—
Латуни	0,075—0,4	0,075—0,4	0,05—0,125	—	—
Меднофосфористые	0,02—0,1	0,025—0,125	—	—	—
Серебряномеднофосфористые	0,06—0,3	0,055—0,3	—	—	—
Серебряные	0,03—0,25	0,05—0,125	0,05—0,25	—	0,03—0,1
Легкоплавкие	—	—	0,1—0,2	—	—
Алюминиевые	—	—	—	0,1—0,25	—

6. При конструировании паяных соединений, предназначенных для токопроводящих изделий, важным фактором является их электропроводность. Если соединение сконструировано правильно, то при включении в электроцепь оно не должно повышать электросопротивления. Припой обычно имеет низкую электропроводность по сравнению с медью. Для того, чтобы паяное соединение не повышало сопротивление электроцепи, необходимо при пайке устанавливать зазор в соответствии с табл. XIV.6.10 и нахлестку, равную 1,5 толщины соединения.

7. При проектировании герметичных узлов рекомендуется применять пайку внахлестку или скошенное соединение. Такие соединения не только гарантируют высокую прочность шва, но и обеспечивают большую площадь пайки, что уменьшает возможность получения негерметичных соединений. На рис. XIV.6.4 приведено несколько примеров пайки герметичных конструкций.

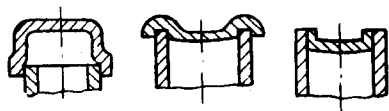


Рис. XIV.6.4. Типовые паяные соединения герметичных контейнеров.

8. При конструировании паяных узлов или агрегатов, предназначенных для работы под давлением или в вакууме, рекомендуется соединять герметизируемую полость с окружающей атмосферой технологическими отверстиями.

При нагреве в процессе пайки воздух или газ, находящийся внутри закрытого сосуда или узла, расширяется так быстро, что если сосуд не вентилируется, то может произойти раздувание стенок сосуда. Кроме того, давление может воздействовать на припой, входящий в зазор, и свести к минимуму действие капиллярных сил (рис. XIV.6.5).

10. При соединении труб с фланцами следует предусматривать посадочный бортик, избегая посадки только на ребро (рис. XIV.6.7).

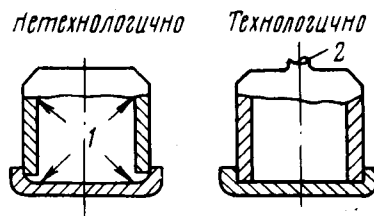


Рис. XIV.6.5. Вентиляция контейнера в процессе пайки:

1 — давление расширяющегося газа; 2 — отверстие для снижения давления газов в сосуде при пайке.

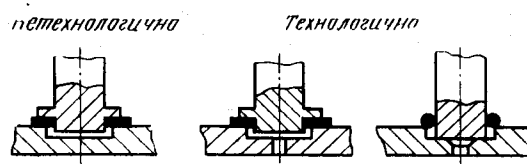


Рис. XIV.6.6. Конструкция глухих соединений.

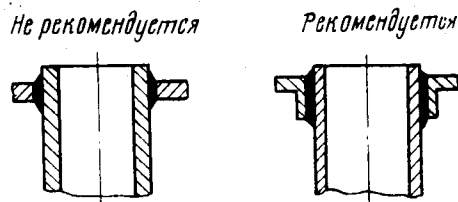


Рис. XIV.6.7. Конструкции соединений трубы с фланцами.

11. Для лучшего распределения припоя не рекомендуется совмещать кромки фланца с кромками трубы; более целесообразно опускать кромки фланца или трубы (рис. XIV.6.8).

12. При проектировании соединений резьбовых штуцеров с трубками рекомендуется пользоваться соединениями, показанными на рис. XIV.6.9.

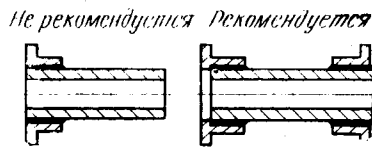


Рис. XIV.6.8. Соединение трубы с фланцами.

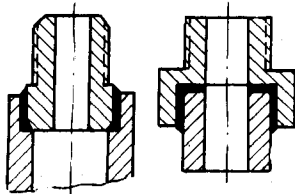


Рис. XIV.6.9. Соединения резьбовых штуцеров с трубами.

13. При сборке деталей под пайку с плотной посадкой необходимо предусмотреть канавки шириной до 0,2 мм и глубиной 0,3 мм (рис. XIV.6.10) для проникновения припоя по всей поверхности соединения.

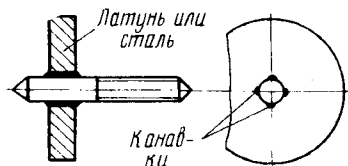


Рис. XIV.6.10. Канавки для проникновения припоя по всей поверхности соединения.

14. При проектировании деталей под пайку не рекомендуется делать выточки на стержнях, а также снимать фаски в местах соединения, так как это может явиться причиной неполного пропайки собранных деталей (рис. XIV.6.11).



Рис. XIV.6.11. Неправильное проектирование элементов деталей под пайку:
а, в — на стержне детали сделана выточка; б — с одной из деталей снята фаска.

15. Важным фактором при конструировании паяных соединений является размещение припоя в соединении. Для этого конструктор должен знать, какой способ пайки будет наиболее целесообразен. При пайке вручную, когда припой подается с внешней стороны, нет никаких затруднений. Однако при большом количестве подлежащих пайке деталей, требующих применения механизированного или автоматизированного оборудования, для пайки может потребоваться предварительная укладка припоя. В таких случаях припой рекомендуется укла-

дывать в виде проволоки, полос, шайб, порошка. Некоторые припой можно также наносить на соединения разбрызгиванием подобно процессу, применяемому при металлизации. На рис. XIV.6.12 приведены возможные варианты укладки припоя. Паз или выемку для укладки припоя в виде проволоки, прорезаемые в основном металле, рекомендуется выполнять в детали, имеющей большее сечение. При подсчете механической прочности паяного узла площадь прорезанного паза необходимо вычитать из площади паяного соединения. В конструкции соединений, где припой укладывается в виде шайб или тонкой плоской полосы, очень важно, чтобы паяемые детали могли перемещаться относительно друг друга в сторону уменьшения зазора во время плавления припоя. В этом слу-

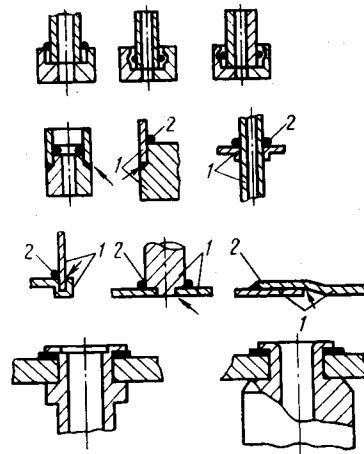


Рис. XIV.6.12. Способы размещения припоя:

1 — спаиваемые детали; 2 — припой.

Стрелкой показан выход припоя после его расплавления и заполнения соединительного зазора.

чае излишнее количество припоя и флюса выжимается из соединения применением надлежащего давления во время процесса пайки.

16. Непосредственно перед пайкой поверхности соединяемых деталей необходимо подвергать соответствующей обработке в целях очистки от грязи и масел; удаления окисных пленок; нанесения покрытий, облегчающих протекание процессов пайки; нанесения барьерных покрытий, препятствующих взаимодействию припоя с паяемой поверхностью.

В табл. XIV.6.11 приведены способы подготовки поверхности в зависимости от состояния поверхности и паяемого материала.

Таблица XIV.6.11

Способы подготовки поверхности под пайку

Состояние поверхности	Способы подготовки поверхности под пайку
Загрязнения, жир, краска, окалина, ржавчина и др.	Механическая зачистка: напильником, металлической щеткой, наждачной бумагой и т. д. Обезжиривание: в бензине, ацетоне, спирте, парах органических растворителей типа дихлорэтана, в горячих щелочных растворителях при 70—80 °С, в электрохимических и специальных ваннах с помощью ультразвуковых установок УМГ-2, УЗВ-15, УЗВ-17, УЗВ-18, УЗА-1, УЗА-2
После механической обработки с применением эмульсии	Механическая зачистка (при необходимости) Обезжиривание (см. выше)

Продолжение табл. XIV.6.11

Состояние поверхности	Способы подготовки поверхности под пайку
После механической обработки (всухую) без эмульсии	Обезжиривание (см. выше)
Легко удаляемые окисные пленки	Механическая зачистка: напильником, металлической щеткой, наждачной бумагой, шлифовальным кругом.
Трудно удаляемые окисные пленки	Травление в различных растворах по инструкции НИАТа и ВИАМа для пайки медных сплавов, нержавеющей стали, жаропрочных и титановых сплавов. Обезжиривание (см. выше)
Большая активность при взаимодействии с расплавленными припоями	Нанесение покрытий из меди, никеля, серебра и других металлов гальваническим и термовакуумным способом
	Нанесение барьерных покрытий (например, хром — никель) на сплавы титана и циркония

Конструкции из трехслойных панелей с сотовым наполнителем

Слоистые конструкции с сотовым наполнителем состоят из обшивок малых толщин и наполнителя между ними, собранного из формованных лент фольги и называемого сотовым блоком. Соединение обшивок с сотовым блоком производится пайкой, причем ленточки фольги, из которых собран наполнитель, припаиваются втавр к обшивке. В процессе сборки и пайки к обшивке и наполнителю могут быть присоединены силовые узлы или окантовочные элементы для стыковки со смежными конструкциями летательного аппарата.

При правильном выборе агрегатов применение сотовых конструкций по сравнению с конструкциями, выполненными из обшивок, подкрепленных стрингерами и нервюрами, дает:

- уменьшение массы конструкции на 20—40%;
- увеличение жесткости конструкции, особенно на кручение;
- увеличение акустической стойкости и вибропрочности;
- лучшее качество аэродинамической поверхности;
- лучшие тепло- и звукоизоляционные свойства.

1. Элементы сотовых конструкций в зависимости от условий применения рекомендуется изготавливать из материалов:

- конструкционных сталей СН-4, СН-2А, припоя ПСрМцМн23;
- нержавеющей стали 12Х18Н10Т, припоя ПСрМцМн23;
- жаропрочных сплавов ЭП99, ВЖ98, припоя ВПр10У*;
- сплавов титана ВТ16, ВТ23, ВТ15, припоев ПСр82*, ВПр16, ВПр28.

* Технологический процесс изготовления панелей находится в стадии освоения.

2. Материалы, полуфабрикаты и силовые элементы перед сборкой сотовой конструкции должны пройти предварительную термообработку и правку для устранения коробчатости, локальной волнистости (хлопунов) и других отклонений согласно РТМ-1508. Силовые обшивки могут иметь переменную толщину, получаемую химическим фрезерованием или сваркой встык листов разной толщины.

3. Геометрические параметры и их соотношение для элементов конструкции с сотовым наполнителем — толщины обшивок и фольги наполнителя, высота сотового блока, размер и форма ячеек, габаритные размеры и форма панелей — выбираются исходя из характера и вида нагружения, условий работы и получения минимальной массы конструкции.

В настоящее время освоено производство сотовых конструкций из элементов со следующими геометрическими характеристиками:

- толщина обшивок от 0,3 до 1,5 мм;
- толщина фольги наполнителя от 0,03 до 0,1 мм;
- высота сотового блока от 5 до 115 мм;
- конфигурация ячеек сотового блока приведена на рис. XIV.6.13, при этом $a=3$ и 6 мм для шестигранной, $a=6$ мм для квадратной ячеек, $r=0,3$ мм;
- размеры панелей до 1000×1500 мм.

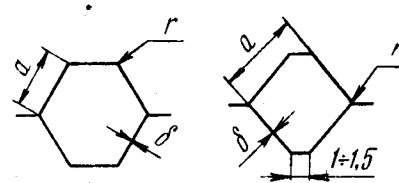


Рис. XIV.6.13. Конфигурация ячеек сотового наполнителя.

4. При сборке сотовых панелей необходимо предусмотреть зазор между паяемыми элементами (сотовым блоком и обшивками, полками профиля и обшивками) не более 0,1 мм. Для обеспечения этого условия сотовый блок перед сборкой обрабатывается до требуемой высоты фрезерованием, а при изготовлении профилей задаются требуемые допуски на неплоскостность и непараллельность припаиваемых полок профиля.

Законцовочные и стыковочные профили допускаются изготавливать обработкой резанием и давлением. При проектировании силовых элементов и обшивки панели необходимо учитывать, что более технологичной является конструкция, не требующая подчекки сотового блока с образованием уступов.

5. Сотовые конструкции паяют с помощью припоев в среде нейтрального газа при температурах: 950°C — для припоя ПСрМцМн23; 880°C — для припоя ПСр82; 1180 — 1200°C — для припоя ВПр10У в специальных приспособлениях, позволяющих осуществлять поджим соединяемых элементов и прижим их к графитовой плите, определяющей пространственную форму панели.

Качество пайки в соединении обшивка — сотовый наполнитель оценивается импедансно-акустическим методом на установках УКН-3, УКН-4П и фиксируется в процессе контроля на электрочувствительной бумаге. Качество пайки в нахлесточных соеди-

нениях обшивка — силовые элементы контролируются просвечиванием рентгеновскими лучами. Паяные соединения должны подвергаться 100%-ному контролю.

6. Паяные сотовые конструкции могут быть изготовлены следующих типов:

- плоские панели толщиной от 5 до 115 мм;
- клиновидные с плоской образующей в пределах толщины плоской панели;
- криволинейные одинарной кривизны на основе плоского или клиновидного сотового блока, изогнутого по криволинейному основанию, с высотой панели до 400 мм;
- криволинейные двойной кривизны на основе сотового блока, обработанного по криволинейной поверхности на станках типа РФП-4, с высотой панели до 400 мм.

В состав панелей перечисленных типов могут входить силовые и законцовочные элементы, имеющие в местах стыковки с сотовым блоком геометрию, соответствующую форме сотового заполнителя изготовленной панели.

Сотовая конструкция при изготовлении может иметь силовые элементы и узлы, выступающие над поверхностью обшивок сотовой панели. Криволинейная форма сотовой конструкции может быть также придана формообразованием изготовленной плоской панели на растяжно-гибочных станках типа ПГР-7, Р01-2М. Схема формообразования плоской панели показана на рис. XIV.6.14.

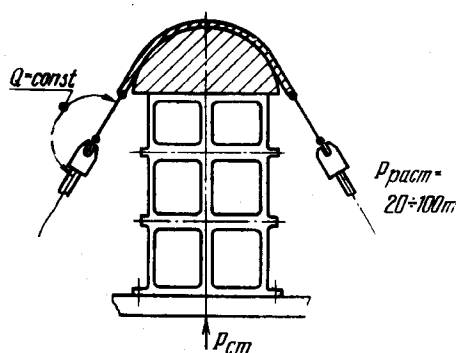


Рис. XIV.6.14. Схема формообразования криволинейной сотовой панели методом гибки с растяжением.

7. Зависимость разрушающих напряжений от толщины обшивки для материала СН-4 при работе на продольное сжатие панелей с рациональным соотношением параметров заполнителя приведена на рис. XIV.6.15.

Зависимость разрушающих напряжений сдвига фольги заполнителя для материала СН-4 от высоты панелей и толщины фольги показана на рис. XIV.6.16. Видна возможность получения на тонких обшивках панели и фольге заполнителя высоких уровней разрушающих напряжений, достигающих при определенных условиях нижних границ σ_B и τ_B материала.

8. В случае необходимости изготовления сотового блока с переменной плотностью стыковку частей сотового блока с разными ячейками можно производить по схемам, приведенным на рис. XIV.6.17.

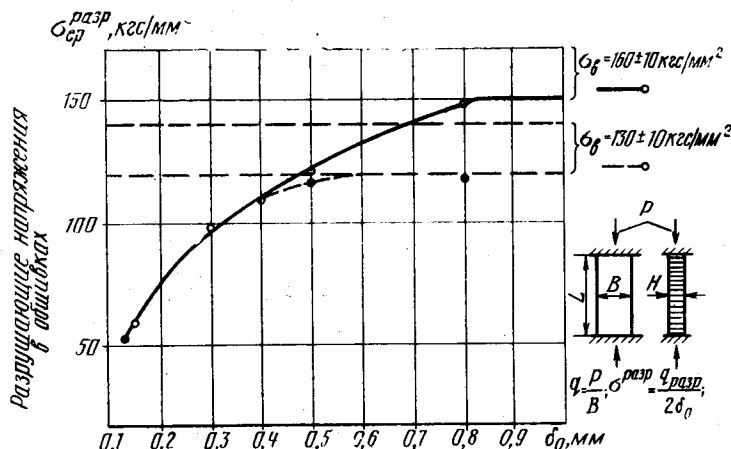


Рис. XIV.6.15. Зависимость разрушающих напряжений от толщины обшивки при работе панели на продольное сжатие.

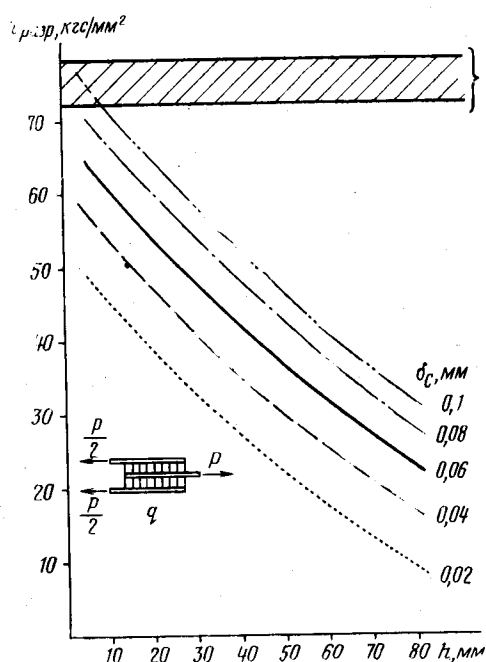


Рис. XIV.6.16. Зависимость разрушающих напряжений от высоты панели и толщины фольги при работе на сдвиг.

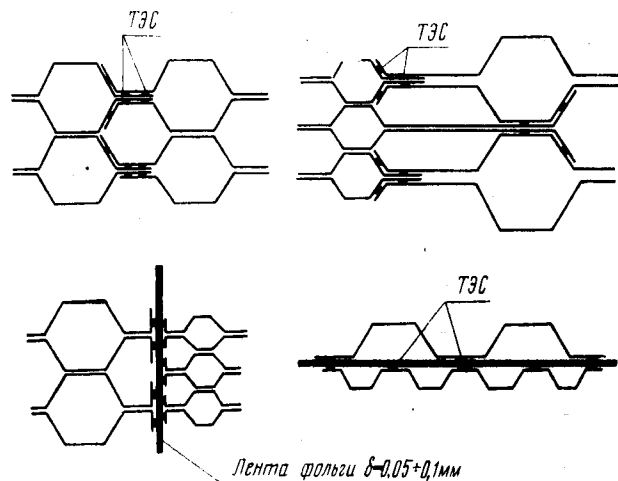


Рис. XIV.6.17. Схема стыковки сотового блока с разными ячейками и толщиной фольги.

9. Стыковка сотовых панелей между собой и со смежными элементами конструкции осуществляется с помощью отработанных типовых схем, показанных на рис. XIV.6.18.

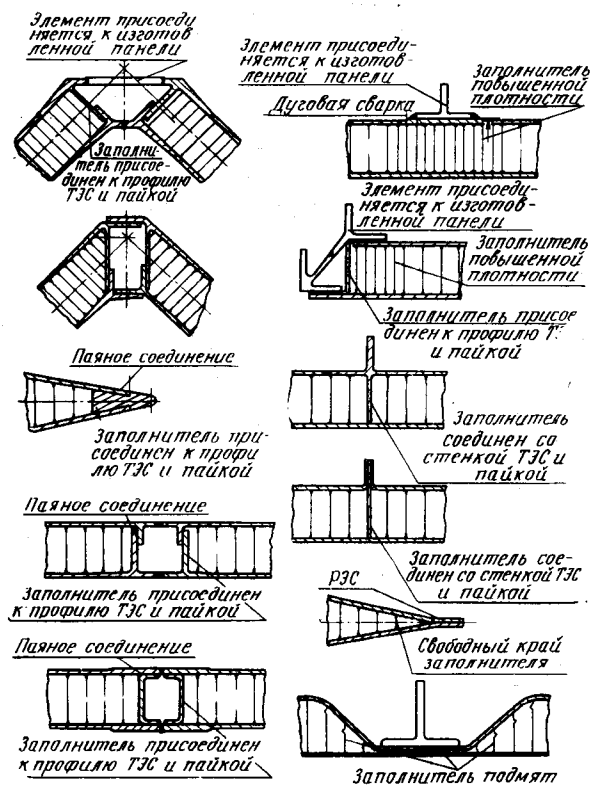


Рис. XIV.6.18. Стыковка сотовых панелей между собой и со смежными элементами.

Тип стыковки, применяемый в конструкциях агрегатов, зависит от величины и характера передаваемых усилий, уровня действующих вибрационных и акустических нагрузок и других эксплуатационных требований, предъявляемых к конструкции, и выбирается конструктором при проектировании агрегата исходя из получения наибольшей технологичности.

10. Ремонт сотовой конструкции при наличии непропаев с недопустимыми размерами и местах повреждения обшивки панели в процессе производства или эксплуатации производится с помощью приварки АрДЭС, ТЭС, приклепывания односторонним крепежом к обшивке изготовленной сотовой панели усиливающих накладок, перекрывающих дефектное место.

В случае непропаев нахлесточного соединения обшивок с полками силовых или окантовочных элементов производится их дополнительное проклепывание или обварка АрДЭС краев обшивки и полок в местах непропая.

Трубопроводы

При изготовлении трубопроводов топливных, масляных и воздушных коммуникаций применяется пайка для соединения:

- труб с концевой арматурой;
- труб непосредственно с корпусами агрегатов;
- труб с трубами при монтаже.

Соединение трубопроводов может осуществляться двумя методами: стационарной и монтажной пайкой.

Методом стационарной пайки осуществляется соединение трубопроводов с концевой или промежуточной арматурой, а также может производиться впайка трубок в корпус агрегата. Типовые представители соединений трубопроводов с арматурой показаны на рис. XIV.6.19.

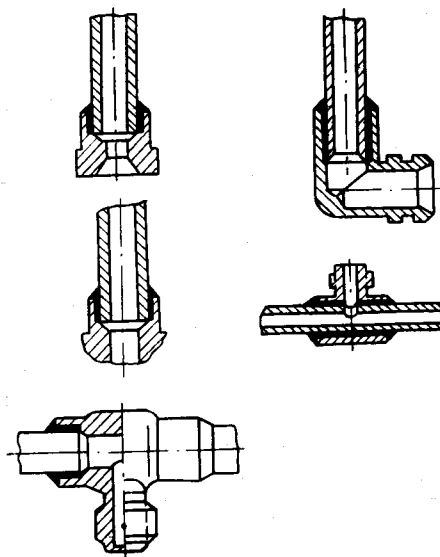


Рис. XIV.6.19. Типовые представители соединений труб с арматурой.

Методом монтажной пайки выполняется соединение трубопроводов при их монтаже на изделии с помощью соединительных муфт.

Стационарная пайка трубопроводов

1. Для соединения труб с арматурой (например, по ГОСТ 16039-16078—70 или по нормали АН-1848) из стали Х18Н10Т рекомендуется применять припой типа ВПр1 и ВПр4. Для трубопроводов из стали 20 в качестве припоя рекомендуется латунь Л-63. Пайка припоем ВПр1 производится с флюсом 201. Припой ВПр4 является самофлюсующим и при быстром нагреве обеспечивает пайку без флюса, однако рекомендуется дополнительный обдув зоны соединения аргоном. Для стали 20 с припоем Л-63 применяется флюс 201 или плавленая бура. Для защиты внутренней поверхности трубопроводов от окисления рекомендуется в процессе пайки пропускать через трубу защитный газ.

2. Трубопроводы под пайку рекомендуется нагревать индукционным способом или газовой горелкой. Индукционный способ обеспечивает лучшую стабильность и более высокую производительность труда, особенно в серийном производстве.

3. При пайке индукционным способом припой в виде проволочного кольца надевается предварительно на трубку в месте пайки по торцу арматуры. При пайке газовой горелкой припой в виде прутка подается к месту спая непосредственно во время пайки. На рис. XIV.6.20 показаны схемы пайки газовой горелкой и индукционным способом. Пайка осуществляется в вертикальном положении. При

индивидуальной пайке рекомендуется применять приспособление, центрирующее трубопровод относительно индуктора.

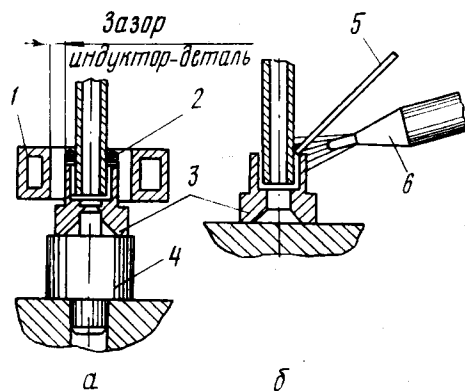


Рис. XIV.6.20. Схема пайки трубопроводов:

а — индукционным способом; б — газовой горелкой; 1 — индуктор; 2 — колечко припоя; 3 — концевой ниппель; 4 — установочный палец; 5 — пруток припоя; 6 — газовая горелка.

4. При конструировании паяных трубопроводов следует руководствоваться общими положениями по конструированию паяных соединений, учитывая, что они отличаются от соединений, выполненных сваркой.

На рис. XIV.6.21 показан схематический разрез паяного соединения трубы с арматурой.

5. Для получения качественного соединения радиальный зазор необходимо выдерживать в определенных пределах. Для указанных припоев оптимальный зазор, равный 0,1—0,15 мм.

6. Условие равнопрочности основного металла и паяного соединения обеспечивается величиной нахлестки A (см. рис. XIV.6.21). Теоретически для применяемых припоев достаточно трехкратная величина нахлестки по отношению к толщине стенки трубы. По технологическим соображениям величина нахлестки берется несколько больше. Так, для трубопроводов с толщиной стенки 1 мм нахлестка рекомендуется 5—12 мм.

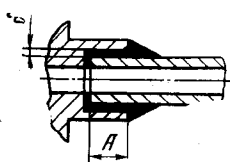


Рис. XIV.6.21. Схематический разрез паяного соединения трубы с арматурой.

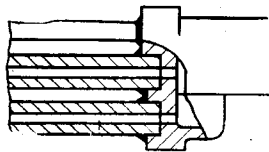


Рис. XIV.6.22. Паяное соединение труб с корпусом агрегата.

производить в печи с защитной атмосферой. Припой укладывается предварительно в виде кольца, как и при индукционной пайке труб с арматурой. При пайке трубы следует располагать, по возможности, в вертикальном или близком к нему положении.

Длина припаяваемых отрезков труб ограничивается рабочим пространством печи и необходимостью применения специального фиксирующего приспособления. Припой может закладываться в виде кольца не только снаружи, но и изнутри по торцу трубы, что обеспечивает пайку труб в различных положениях. При этом обязательна фиксация положения трубы относительно корпуса агрегата. Для улучшения условий растекания припоя при пайке в печи с защитной атмосферой возможно применение небольшого количества флюса.

Монтажная пайка трубопроводов

1. Основным типом монтажного паяного соединения трубы с трубой является муфтовое соединение (рис. XIV.6.23). Паяные монтажные соединения позволяют снизить массу, улучшить герметичность и значительно повысить эксплуатационную надежность трубопроводных систем.

2. Равнопрочность паяного соединения и основного металла обеспечивается за счет соответствующей величины нахлестки. Внутренние кольцевые пазы служат для предварительной укладки припоя. Соединительный зазор между трубой и муфтой заполняется за счет действия капиллярных сил, поэтому этот зазор должен выдерживаться в пределах 0,05—0,1 мм на сторону.

По торцу муфты с наружной поверхности рекомендуется снимать фаски для более равномерного распределения осевых нагрузок. Наружная поверхность муфты может быть гладкой или сложной цилиндрической формы, полученной в результате выема лишнего по массе материала.

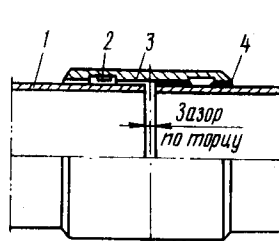


Рис. XIV.6.23. Типовое монтажное паяное соединение трубопровода:

1 — труба; 2 — кольцо припоя; 3 — соединительная муфта; 4 — паяное соединение.

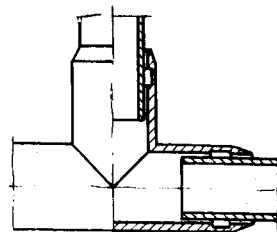


Рис. XIV.6.24. Монтажная арматура типа «тройник».

3. Для паяных монтажных соединений трубопроводов, кроме соединительных муфт, могут применяться переходники, угольники, тройники, крестовины и т. п. Арматура типа «тройник» показана на рис. XIV.6.24. Арматура изготавливается точением или штампуются из трубных заготовок.

4. Для пайки рекомендуется использовать припой типа ВПР4, обеспечивающий работоспособность паяного соединения до температуры 500—600 °С.

При меньших эксплуатационных температурах, порядка 300 °С, возможно применение самофлюсующих припоев на серебряной основе. Для улучшения растекаемости припоя и повышения стабильности качества пайки рекомендуется на соединяемые поверхности трубопроводов из нержавеющей стали наносить электролитический слой никеля толщиной 5—7 мкм.

5. Пайка соединения производится без флюса в атмосфере аргона по ГОСТ 10157—73. Для защиты от окисления аргон подается при необходимости и во внутреннюю полость трубы. Флюс не применяется из-за сложности удаления его твердых коррозионных остатков в монтажных условиях.

6. Разъемный нагреватель служит одновременно рабочим инструментом и камерой для защитного газа — аргона. При индукционном методе нагрева нагреватели питаются от высокочастотных генераторов, выпускаемых в виде стационарных установок. Нагреватель подключается к генератору специальным кабелем, длина которого зависит от выходной мощности генератора, максимального диаметра соединяемых трубопроводов и составляет в среднем 20 м.

7. Участок трубопровода с соединением под пайку должен располагаться в изделии так, чтобы обеспечивалась возможность сборки соединительной арматуры с трубами, установки и демонтажа нагревателя, подключения токоподводящего кабеля. Свободное пространство вокруг трубы в зоне пайки в среднем должно составлять не менее 18—30 мм в зависимости от диаметра труб в секторе с углом 200°, остальное — свободный доступ.

8. В процессе пайки температура в зоне соединения достигает 1000—1100 °С. Время нагрева не превышает 2 мин. Зона соединения должна быть экранирована нагревателем, охлаждаемым водой. Другие участки трубопроводов могут иметь температуру непосредственно у нагревателя до 500—600 °С, а на расстоянии 120—150 мм сохраняется комнатная температура.

9. Паяные соединения относятся к классу неразъемных, поэтому в условиях монтажа их рекомендуется применять в основном для стыковки труб, не требующих переборки при эксплуатации изделий. Монтажная пайка находится в стадии опытно-промышленных исследований, и возможность ее применения определяется в каждом конкретном случае в зависимости от условий работы изделия.

10. Качество пайки трубопроводов контролируют визуальным осмотром, рентгеноконтролем, ультразвуковым методом, проверкой на герметичность, гидротестированием и выборочным контролем микроструктуры основного материала.

Электрокоммуникации

В современных самолетных конструкциях устанавливается значительное количество электроаппаратуры, монтаж которой требует проведения до 30 тыс. мест соединений. При этом основным методом соединения является пайка, которая в отличие от других методов заделки (сварки и обжима) имеет ряд преимуществ:

— возможность монтажа при любых температурах;

— возможность тесного монтажа в труднодоступных местах;

— допустимость демонтажа (без разрушения конструкции);

— высокие механические свойства соединения, в том числе и вибропрочность шва.

В качестве электропроводных линий используют как медные, так и алюминиевые провода.

Конструктивно при бортовом монтаже применимы следующие виды заделок провода:

— в клеммы электрических соединителей;

— в наконечники;

— в выводы реле и лепестки монтажных панелей.

Во всех случаях тип соединения нахлесточный.

Пайка медных и компенсационных проводов

Для пайки медных проводов в зависимости от условий эксплуатации применяют различные легкоплавкие и твердые серебряные припои, область применения которых приведена в табл. XIV.6.12.

Таблица XIV.6.12

Максимальная температура рабочей зоны, °С, до	Марка припоя	Необходимость дополнительной антикоррозионной защиты во всеклиматических условиях	Рекомендуемая область применения
150	ПОССу 61—0,5	Да	Для проводов марки БПДО
	ПОССу 40—0,5	Да	
200	ПСрМо5	Нет	Для проводов марки БИФ
	ПСр2,5	Да	
250	ПСр0Cu8	Нет	Для проводов марки БФС
	ПСр2,5	Да	
450	ПСрИн1,4	Нет	Для компенсационных проводов и проводов марки БСА
	ПСр40	Нет	
	ПСр45	Нет	

Пайка осуществляется на воздухе с флюсами. В качестве флюса при температурах пайки до 400 °С используется спиртоканифольевый флюс, остатки которого не вызывают коррозии паяного шва. По гальванически луженой и серебряной поверхности рекомендуется паять с помощью только спиртоканифольевого флюса. На золоченых поверхностях клемм рекомендуется предварительное лужение их с активированным флюсом, тщательное удаление остатков, а затем пайка провода со спиртоканифольевым флюсом, а на никелированной поверхности жил проводов — предварительное горячее лужение оголенного участка жилы в расплаве припоя со спиртоканифольевым флюсом; затем пайка клеммы с тем же флюсом.

Необходимо отметить, что спиртоканифольевый флюс сохраняет свою активность при медленном нагреве до температуры 350—380 °С, при интенсивном (например, электроконтактном) — до 420 °С. При более высоких температурах пайки канифоль сбугливается и не оказывает флюсующего действия.

При пайке серебряными твердыми припоями ПСр40 и ПСр45 используется флюс 209, остатки которого после формирования паяного шва образуют на его поверхности стеклообразную массу. При нанесении на горячий (400 °С) спай холодного спирта происходит растрескивание стеклообразного слоя, что позволяет почти полностью удалить остатки флюса.

Пайка проводов марок БПДО, БИФ и БФС производится обычными электропаяльниками со спиральным нихромовым нагревателем. При этом провода сечением до 1 мм² требуют обязательного применения пинцет-теплоотводов, исключающих затекание припоя под изоляцию провода, что обеспечивает достаточную вибропрочность соединений.

Пайку компенсационных проводов и проводов марки БСА рекомендуется выполнять специальным высокотемпературным паяльником с источником питания марки УПП.

Паяные соединения контролируют визуальным осмотром и выборочными механическими испытаниями (ПИ-129—67. НИАТ, 1968).

Пайка алюминиевых проводов

Пайка алюминиевых нетеплостойких проводов осуществляется мягкими оловянно-цинковыми припоями бесфлюсовыми методами: ультразвуковым и абразивным.

Для лужения и пайки ультразвуковым методом применяется припой марки П250 (П080Ц) с температурой плавления 200—250 °С. Лужение осуществляется на специальной ультразвуковой установке, включающей в себя ультразвуковой генератор типа УЗГ-10; магнитострикционный вибратор типа ПМС9; ванну с электронагревателями для расплава припоя.

Лужение ультразвуком в кольцевом излучателе обеспечивает лужение поверхности наружных жил провода по всей их длине, входящей в наконечник, и лужение с торца на глубину до 5 мм всех внутренних жил.

Для абразивного лужения и пайки проводов в наконечник применяется припой марки 102 с температурой плавления 199—355 °С. Его состав: олово марки 01 или 02 по ГОСТ 860-60-50±1% и цинк марки ЦВ или ЦО по ГОСТ 3640-47-50±1%.

Абразивный метод обеспечивает лужение поверхности наружных жил провода по всей их длине, входящей в наконечник, и по поверхности торца провода.

Качество паяных соединений контролируют визуально и выборочными механическими испытаниями (ПИ-121—67. НИАТ, 1967).

ЛИТЕРАТУРА

Никифоров Г. Д., Дьяченко В. В. и др. О механизме образования соединений при сварке и пайке. — «Сварочное производство», 1967, № 12.

Шоршоров М. Х., Красулин Ю. Л. О природе физико-химических явлений в сварных и паяных соединениях. — «Сварочное производство», 1967, № 12.

Виноградов В. С. Технология производства сварных и паяных конструкций. М., «Машиностроение», 1966.

Лоцманов С. Н., Петрунин И. Е. Пайка металлов. М., «Машиностроение», 1966.

Лашко Н. Ф., Лашко С. Э. Пайка металлов. М., «Машиностроение», 1967.

ПИ-106—67. Пайка конструкционных и нержавеющей сталей. НИАТ, 1967.

ПИ-107—67. Пайка меди и ее сплавов. НИАТ, 1967.

РТМ-981. Изготовление и монтаж трубопроводных систем реактивных двигателей. НИАТ, 1963.

Руководство по пайке мягкими припоями. Пер. с англ. Под ред. С. Н. Лоцманова. Оборонгиз, 1960.

Губин А. И. Пайка нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов. М., «Машиностроение», 1964.

Перечень-ограничитель марок припоев, рекомендуемых к использованию в опытном производстве изделий авиационной техники на 1977—1981 гг. ВИАМ, 1976.

Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. Изд. 3-е. НИАТ, 1972.

Лакедемонский А. В., Хряпин В. Е. Справочник паяльщика. М., «Машиностроение», 1967.

Лоцманов С. Н., Петрунин И. Е., Фролов В. П. Справочник по пайке. М., «Машиностроение», 1975.

Справочник по авиационным материалам. (ВИАМ) «Машиностроение», т. I, 1965; т. VI, 1974.

РТМ-1120. Производство гидравлических, газовых и топливных систем. НИАТ, 1969.

РТМ-1508. Стальные паяные сотовые конструкции. НИАТ, 1975.

Глава 7. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ НЕРАЗЪЕМНЫХ ГЕРМЕТИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В конструкциях самолетов большинство агрегатов и отсеков герметизировано: воздушные кабины для пассажиров; воздушные кабины для экипажей; приборные отсеки с воздушной средой; специальные отсеки с газообразными рабочими средами; топливные отсеки крыльев и киля; подвесные топливные баки; топливные и водяные отсеки фюзеляжей; прочие специальные отсеки с жидкими рабочими средами.

С повышением скоростей, высот и дальности полета требования к степени их герметичности, надежности и долговечности, или ресурса, сильно возросли. Так, некоторые герметические агрегаты должны сохранять непроницаемость для рабочих сред в течение 30 лет.

В последние годы все чаще встречаются целиком герметизированные конструкции фюзеляжей, крыльев и даже всего планера, то есть практиче-

ски все клепаные и болтовые швы должны быть герметичными.

С появлением широкофюзеляжных самолетов размеры герметичных агрегатов, например кабин, резко возросли. В результате этого объем герметизации сильно увеличивается и, как правило, сопровождается соответствующим ростом расхода герметиков. На отдельных изделиях масса герметиков достигает сотен и тысяч килограммов, а трудоемкость герметизации — нескольких сотен и тысяч часов. Поэтому становится актуальной задача резкого снижения массы герметиков при одновременном обеспечении высокого и стабильного качества герметизации агрегатов с наименьшими затратами труда и средств в условиях серийного производства. Эта задача может быть решена на базе автоматизации и механизации процессов приготовления, нанесения герметиков и контроля герметичности агрегатов, исключающих влияние квалификации исполнителей на результаты работы, а также применением новых прогрессивных материалов, например анаэробных смол, для герметизации и контровки резьбовых соединений.

Уровень современной техники герметизации агрегатов в самолетостроении характеризуется большим разнообразием конструктивных способов и технологических процессов герметизации. Наиболее прогрессивным из них, позволяющим без увеличения массы обеспечить высокие качества и надежность герметизации с одновременным снижением трудоемкости в 4–6 раз, является введение герметика в каналы между окончательно собранными деталями соединений методом нагнетания.

Наибольшее увеличение массы агрегатов за счет герметизации наблюдается при нанесении разжиженных герметиков поливом (в среднем около 2 кгс/м^2). В панелированных конструкциях топливных отсеков от этого метода следует отказаться. Для непроходных, например стрингерных, швов наибольший эффект можно получить за счет использования различных видов герметичного крепежа.

В некоторых случаях применение наиболее технологичных схем герметизации может быть ограничено из-за отсутствия герметизирующих материалов, в полной мере отвечающих соответствующим технологическим требованиям. Кроме того, даже весьма технологичные опытные конструкции соединений, узлов и отсеков без учета требований и условий серийного производства могут оказаться трудоемкими и нетехнологичными, в частности из-за недостаточной механизации процессов герметизации, а также по ряду других причин.

Настоящие рекомендации не являются систематизированным изложением технологических основ проектирования неразъемных герметичных соединений. Однако приведенные сведения о технологичных и нетехнологичных конструкциях могут быть полезны для конструкторов, проектирующих герметичные соединения и отсеки.

МЕТОДЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ, УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ

В зависимости от места расположения герметиков в соединениях различают три основных метода герметизации: поверхностный (поверхностная гер-

метизация), внутришовный (внутришовная герметизация) и комбинированный (комбинированная герметизация).

При **поверхностном методе** герметизирующие материалы находятся на поверхностях соединений, узлов и агрегатов со стороны воздействия изолируемой среды, с противоположной (рис. XIV.7.1) стороны (главным образом в случаях ремонта) и с обеих сторон одновременно.

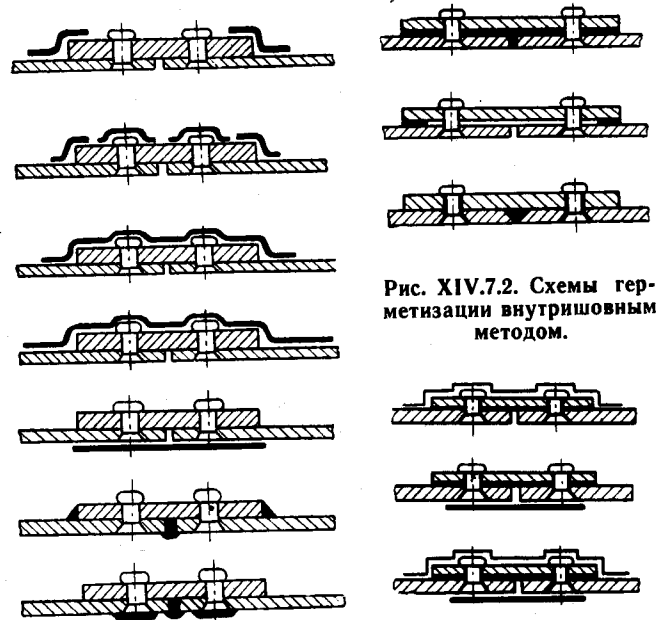


Рис. XIV.7.1. Некоторые варианты поверхностного метода герметизации.

Рис. XIV.7.3. Схемы герметизации комбинированным методом.

При **внутришовном методе** герметизирующие материалы наносятся между деталями соединения или узла (рис. XIV.7.2).

Комбинированный метод предусматривает использование двух указанных методов одновременно (рис. XIV.7.3).

Поверхностный метод

1. Поверхностный метод герметизации соединений рекомендуется применять главным образом в тех случаях, когда избыточное давление или рабочая среда действуют только с одной стороны соединения. Чаще всего герметизирующие материалы наносятся на поверхности соединений со стороны действия избыточного давления или рабочей изолируемой среды.

2. Герметизация соединений, узлов и агрегатов поверхностным методом осуществляется после окончания их сборки и поэтому в большинстве случаев не требует повышенной точности сборки. Герметизирующие материалы на поверхности соединений рекомендуется наносить только в зоне швов. Покрытие сплошным слоем всей внутренней поверхности отсека может быть оправдано только применительно к многодетальным недостаточно жестким клепаным конструкциям топливных отсеков при отсутствии доступа внутрь.

3. Герметизацию соединений, узлов и агрегатов поверхностным методом целесообразно производить следующими основными наиболее распространенными способами:

а) нанесением на кромки деталей, узлов и агрегатов предварительно приготовленных пастообразных самовулканизирующихся в резиноподобное состояние герметизирующих материалов с помощью шприцев и шпателей в виде валиков различных сечений;

б) нагнетанием пастообразных герметиков под съемную технологическую оснастку (например, бандажи) по местам стыков деталей;

в) нанесением на кромки деталей соединений пастообразных однокомпонентных самовулканизирующихся в резиноподобное состояние герметиков из тюбиков;

г) заполнением установленных на гайки и головки болтов колпачков пастообразными самовулканизирующимися герметиками;

д) заполнением жидкими или пастообразными герметизирующими материалами открытых пазов различного профиля у кромок соединений (рис. XIV.7.4);

е) заполнением узлов, отсеков и целых агрегатов жидкими герметизирующими составами с последующим их сливом, сушкой, вулканизацией или отверждением оставшейся на поверхности детали пленки герметизирующего материала;

ж) местным заполнением узлов, отсеков и агрегатов жидкими герметизирующими составами с последующим их сливом, сушкой, вулканизацией или отверждением оставшейся на поверхности детали пленки примененного для герметизации материала;

з) поливом (например, с вращением) соединений, узлов, отсеков и агрегатов жидкими герметизирующими составами с последующим их сливом, сушкой, вулканизацией или отверждением оставшейся на поверхностях деталей пленки примененного для герметизации материала;

и) местным поливом (например, с вращением) соединений, узлов, отсеков и агрегатов жидкими герметизирующими составами с последующим их сливом, сушкой, вулканизацией или отверждением оставшейся на поверхности деталей пленки примененного для герметизации материала;

к) напайванием металлов на поверхности деталей и соединений в местах стыка и нахлестки деталей;

л) привариванием металлических уплотнительных материалов к поверхностям соединенных деталей;

м) нанесением на поверхности деталей, соединений, узлов и агрегатов жидких герметизирующих материалов или растворов с помощью распылителей;

н) нанесением на поверхности соединений волокнистых материалов и смол с помощью специальных пневматических инструментов;

о) частичным или полным окунанием герметизируемых деталей, соединений, узлов и агрегатов в ванны с соответствующими герметизирующими материалами;

п) приклеиванием тканевых, металлических и прочих лент на поверхности соединений;

р) закрыванием поверхностей соединений специальными чехлами;

с) напылением на поверхности соединений пенополиуретанов или других вспенивающихся материалов.

4. При каждом способе поверхностной герметизации применяемые герметизирующие материалы должны удовлетворять соответствующим, зависящим от технологии их нанесения, технологическим требованиям.

5. Нанесение герметизирующих материалов способами окунания, наполнения или полива дает наибольшее утяжеление конструкции и увеличение цикла герметизации в сравнении с другими способами.

Конструкция герметизируемых агрегатов при использовании этих способов должна обеспечивать возможность полного слива герметизирующих составов с учетом их максимальной вязкости. Так, например, диаметр отверстия для слива герметика УТ-32 должен быть не менее 15–20 мм.

Внутришовный метод

1. Внутришовный метод герметизации соединений, узлов и агрегатов рекомендуется применять как при одностороннем, так и при двустороннем воздействии рабочих изолируемых сред, которые могут находиться под избыточным давлением или при переменном воздействии перепада давлений.

2. При внутришовной герметизации к точности подгонки и сборки деталей, соединений, отсеков, как правило, предъявляются повышенные требования. В большинстве случаев максимальные местные зазоры на длине 100–300 мм между соединяемыми деталями не должны превышать 0,2–0,5 мм.

3. Внутришовный метод герметизации требует в большинстве случаев предварительной сборки деталей, соединений, узлов и агрегатов, их разборки для подготовки поверхностей деталей, соединений, узлов и агрегатов, удаления заусенцев, нанесения паст или прокладывания пленок и лент с прокалыванием отверстий в них и пр. и повторной окончательной сборки.

4. Во избежание разборки соединений наиболее целесообразно герметизацию внутришовным методом выполнять путем заполнения пазов по кромкам окончательно собранных деталей или прокладыванием между соединяемыми деталями упругих клеевых лент или другого типа герметиков, позволяющих сверлить отверстия под заклепки и болты после окончательной сборки соединений.

5. Внутришовный метод герметизации нестыковых швов рекомендуется выполнять путем прокладывания уплотнительных резиновых колец под закладные головки болтов. Это снижает трудо-

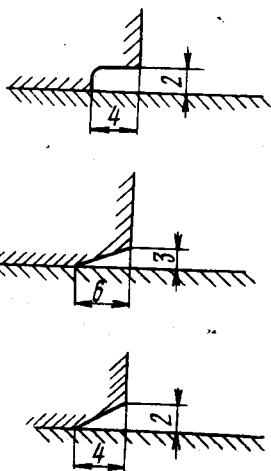


Рис. XIV.7.4. Типы и размеры пазов для герметизации заклепочных и болтовых соединений.

емкость герметизации, так как устраняются операции разборки швов, обезжиривания деталей и нанесения на них герметиков.

6. Трудоемкость герметизации нестыковых швов отсеков во многих случаях может быть снижена или устранена путем отказа от герметизации замыкающих головок заклепок при качественном их оформлении в процессе клепки, так как утечка в этих местах не наблюдается.

В некоторых случаях внутришовная герметизация агрегатов повышает усталостную прочность и общий ресурс работы конструкции. Применение внутришовной герметизации с закладкой пастообразного герметика между деталями соединений в процессе сборочных работ вызывает увеличение трудоемкости сборки, клепки и постановки болтов не менее чем в два раза.

7. Возможность проведения внутришовной герметизации отсеков после окончания сборки обеспечивает метод нагнетания, выгодно отличающийся от других методов герметизации.

Преимуществами этого метода являются:

— обеспечение требуемой толщины и количества герметика в шве, что гарантирует высокую надежность герметизации;

— возможность герметизации собранных агрегатов;

— возможность ремонта подшприцовкой новой порции герметика в случае использования невулканизирующихся замазок;

— улучшение условий труда.

8. К недостаткам этого метода следует отнести:

— необходимость обеспечения высокой точности подгонки деталей соединений конструкции, что значительно повышает трудоемкость сборки;

— затрудненность ремонта изделия при его разгерметизации в случае использования вулканизирующихся герметиков и отсутствия люков.

9. Герметизацию соединений, узлов и агрегатов внутришовным методом рекомендуется осуществлять следующими наиболее распространенными способами:

а) нагнетанием самовулканизирующихся герметизирующих составов по зазорам или специальным каналам между соединенными деталями, узлами и агрегатами;

б) прокладыванием между соединяемыми конструктивными деталями и узлами упругих клеевых лент и пленок, прокладок и других деталей, а также других материалов перед окончательной сборкой соединений, узлов и агрегатов;

в) предварительным нанесением герметизирующих материалов на сопрягаемые поверхности соединяемых деталей, узлов и агрегатов и деталей крепежа;

г) нанесением липких, пастообразных и других материалов на сопрягаемые поверхности деталей, узлов и агрегатов и деталей крепежа перед окончательной сборкой соединений, узлов и агрегатов;

д) склеиванием деталей и узлов;

е) пайкой деталей и узлов и др.;

ж) заполнением канавок и специальных объемов самовспенивающимися композициями;

з) заполнением зазоров в резьбовых соединениях анаэробными смолами;

и) нагнетанием по каналам между деталями соединений невулканизирующихся замазок и паст;

к) комбинацией указанных способов.

10. В соединениях, герметизируемых нагнетанием герметика в пазы после сборки, зазоры не должны превышать 0,05 мм. Такая точность может быть обеспечена при механической обработке сопрягаемых поверхностей. Если зашприцовку проводить после нанесения поверхностной герметизации, то местные зазоры допускаются до 0,3 мм.

11. Нагнетание герметика в шов может производиться через отверстия под болты и заклепки, а также через специальные технологические отверстия диаметром, не превышающим ширину паза. Ширина паза может быть равной 5–15 мм, глубина — 0,5–1,5 мм. Например, при диаметре болтов 8 мм канавка, расположенная по линии их установки, может иметь размеры $14 \times 1,5$ мм.

12. Отверстия для нагнетания герметика следует располагать на равном расстоянии друг от друга с наружной стороны агрегата. Расстояние между этими отверстиями должно составлять 250–500 мм. После нагнетания герметика отверстие должно быть закрыто заглушкой (когда паз располагается не по силовым точкам) либо в него может быть поставлен болт или заклепка.

Комбинированный метод

Комбинированный метод герметизации соединений, узлов и агрегатов в большинстве случаев обеспечивает наибольшую надежность и стабильное качество герметичных отсеков и агрегатов (рис. XIV.7.5).

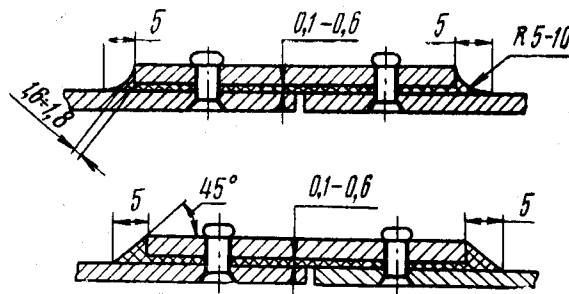


Рис. XIV.7.5. Типовое сечение соединения с комбинированным методом герметизации.

Этот метод применяется в случаях воздействия разных рабочих сред с двух сторон соединения или когда давления рабочих сред или одной среды с двух сторон неодинаковы либо попеременно изменяются. Влияние квалификации исполнителей меньше сказывается при этом методе. Однако, по сравнению с предыдущими, он более трудоемок и отличается увеличением массы конструкций за счет герметизации.

ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Классификация герметизирующих материалов

В самолетостроении для герметизации болтовых и заклепочных соединений деталей в узлах и агрегатах могут применяться разнообразные (по физическому состоянию) материалы:

- мягкие металлы (в виде прокладок, шайб или уплотнительных деталей);
- невулканизирующиеся, невысыхающие пластичные густые пасты или замазки;
- клеи (пленки, покрытия);
- различной вязкости пасты и их растворы, самовулканизирующиеся в резиноподобное рабочее состояние;
- анаэробные и другие смолы.

2. Наиболее современными и получившими распространение являются резиноподобные герметики, находящиеся в процессе применения в пастообразном состоянии. Вязкость герметиков можно уменьшать до жидкотекучего состояния введением в них растворителей.

3. Для обеспечения необходимой непроницаемости соединений конструктор может применять различные по консистенции материалы в зависимости от размеров конструктивных неплотностей, точности подгонки и технологии изготовления деталей, методов сборки и условий эксплуатации.

В зависимости от состояния в процессе применения герметизирующие материалы могут быть разделены на следующие группы:

- а) жидкие лаки и растворы;
- б) густые, вязкие растворы и лаки;
- в) тиксотропные пасты, не стекающие с вертикальных и наклонных поверхностей;
- г) густые высоковязкие пасты;
- д) эластичные высоковязкие замазки;
- е) эластичные прокладки;
- ж) упругие материалы в виде клеевых пленок;
- з) твердые материалы (клеи, полимеры, металлы и др.).

Жидкие уплотнительные составы рекомендуются использовать для герметизации соединений, имеющих небольшие зазоры, или для заполнения узких щелей и капиллярных каналов, а также для получения сплошных поверхностных герметизирующих покрытий.

Для этих же целей рекомендуются жидкие герметизирующие материалы, не имеющие растворителей в своем составе и вулканизирующиеся или отверждающиеся без усадок. Применение таких материалов устраняет опасность возникновения пожаров и значительно улучшает условия труда за счет устранения токсикологического действия растворителей.

Вязкие пасты, не изменяющие своих свойств под действием рабочих сред в течение длительного времени, используются для нагнетания их по каналам между соединяемыми деталями. Для зашплицовки могут применяться материалы, переходящие в резиноподобное состояние без усадки, а также пластичные замазки.

Особенно удобны для внутришовной герметизации резьбовых соединений отверждающиеся без доступа воздуха анаэробные смолы.

В зависимости от стойкости к рабочим средам используемые в самолетостроении герметизирующие материалы делятся на

- атмосферостойкие;
- атмосферо- и водостойкие;
- топливо- и маслостойкие;
- атмосферо-, водо-, топливо- и маслостойкие.

В зависимости от температурных условий и длительности эксплуатации различают герметики

- для длительной работы при высоких и невысоких температурах;
- для кратковременной работы при высоких и невысоких температурах.

Если герметик употребляется на противоположной давлению стороне соединения, то лучше всего применять самовулканизирующиеся материалы вследствие более высокой адгезии их к металлам и наименьшему холодному течению. Можно также заменять их высыхающими за счет испарения растворителей герметизирующими материалами и клеями.

Выбор соответствующего герметизирующего материала в каждом случае производит конструктор, сопоставляя условия производства и эксплуатации самолетов с характеристиками имеющихся герметиков. При этом следует учитывать способ перевода герметизирующего состава из состояния поставки в конечное рабочее состояние, например, с испарением растворителей или без. Уплотнительный материал (лак, пленка, замазка, паста и пр.) выбирают в зависимости от конструкции, принятой схемы герметизации и технологического процесса нанесения герметика с учетом соответствия его основным тактико-техническим требованиям.

Краткие характеристики герметиков

Основные технологические характеристики некоторых типов герметиков, применяемых в настоящее время, указаны в табл. XIV.7.1. При использовании вулканизирующихся герметиков следует учитывать, что после введения вулканизирующих компонентов происходит непрерывный процесс вулканизации герметика, скорость которого прямо пропорциональна количеству введенных вулканизирующих компонентов, температуре и влажности окружающего воздуха. Поэтому конструктор при проектировании должен предусмотреть, чтобы время сборки и клепки герметичных агрегатов было меньше времени жизнеспособности герметиков.

При использовании герметиков особое внимание надо обращать на величину сопротивления их отрыву от герметизируемых поверхностей и, по возможности, избегать работы герметиков на отрыв. Для применения опытных и серийных герметиков в новых конструкциях самолетов необходимо получить соответствующие рекомендации ВИАМа по материаловедческим вопросам. Разжиженные герметики, как правило, вулканизируются с усадками.

Данные о ресурсе работы герметиков получены при испытаниях лабораторных образцов материала и не могут полностью характеризовать поведение герметика в реальном изделии, особенно в момент одновременного воздействия температур, жидких рабочих сред и перепада давления.

Основные технологические характеристики некоторых типов герметиков, применяемых в настоящее время

Марка герметика	Состояние			Жизнеспособность, ч	Подслой		Способ нанесения герметика	Режим вулканизации	Выдержка до испытания, сутки		Диапазон рабочих температур, °C		ТУ, МРТУ
	поставки	применения	рабочее		воздух	топливо			воздухом	топливом	в кабинах	в топливных отсеках	
УЗМЭС-5	Герметизирующая паста У-30Э-5 Вулканизирующая паста № 9 Ускоритель — дифенилгуанидин	Пастообразная масса черного цвета	Резиноподобный материал	2,0—15,0	П-9	П-9	Шприцем или шпателем, при разбавлении растворителем — кистью	При 15—35 °C — полная вулканизация 10—15 суток	2	2	-60÷+150	-60÷+150	ТУ 105462—80, инструкция ВИАМ ПИ 1.2.157—80
УЗМЭС-5М	Герметизирующая паста У-30Э-5 Вулканизирующая паста № 9 Ускоритель — продукт АМГ-9	То же		2,0—5,0	Не требуется	—	То же	То же	3	3	-60÷+150	-60÷+150	ТР 1.2.186—80 ТУ 38.1051436—80
УТ-32	Герметизирующая паста У-32 Вулканизирующая паста № 9 Ускоритель — дифенилгуанидин	Пастообразная масса серого цвета		2,0—10,0 (при нанесении шпателем); 10—20 суток (при нанесении поливом)	Не требуется	—	Шпателем, при разбавлении растворителем — кистью или поливом	При 15—35 °C — 10—15 суток; при 70 °C — 1 сутки	3	5	-60÷+150	-60÷+150	ТУ 105462—80, инструкция ВИАМ ПИ 1.2.157—80
ВИТЭФ-1	Герметизирующая паста ТФ-1 Вулканизирующая паста № 1 Ускоритель — дифенилгуанидин	Пастообразная масса бежевого цвета		2,0—10,0	Не требуется	—	Шприцем или шпателем, при разбавлении растворителем — кистью или пульверизатором	При 15—35 °C — 5—7 суток	3	5—7	-60÷+150	-60÷+130	ТУ 38.1051291—79, ПИ 1.2.157—80
ВИТЭФ-2	Герметизирующая паста ТФ-2 Вулканизирующая паста В-2 Ускоритель — дифенилгуанидин	Вязкотекучая масса бежевого цвета		Не более 8,0	—	—	Шприцем, кистью	При 15—35 °C — 8—10 суток, при 70 °C — 18—24 ч	3	5—7	-60÷+150	-60÷+130	ТУ 38.1051291—79, ПИ 1.2.157—80
ВИТО-1	Герметизирующая паста	Пастообразная масса черного цвета		0,25—1,00	Не требуется	—	Выдавливанием из тубы и выравниванием шпателем	При 15—35 °C — 2—11 суток (зависит от толщины слоя герметика)	3—5	—	-60÷+130	—	ТР 29-17—81, ТУ 1-595-136—82

Где 7. Технологичность конструкций неразъемных герметичных соединений

Марка герметика	Состояние			Жизнеспособность, ч	Подслой		Способ нанесения герметика	Режим вулканизации	Выдержка до испытания, сутки		Диапазон рабочих температур, °C		ТУ, МРТУ
	поставки	применения	рабочее		воздух	топливо			воздухом	топливом	в кабинах	в топливных отсеках	
ВГО-1	Герметизирующая паста	Пастообразная масса белого цвета	Резиноподобный материал	0,17—1,00	Без подслоя или подслоя П-11 в сочетании с протирочной пастой № 2 или без нее или подслоя П-9+П-11	—	Выдавливанием из тубы и выравниванием шпателем	При 15—25 °C и относительной влажности воздуха не менее 30% — 1—3 суток	2	—	—60÷+250	—	ОСТ 38.03238—81, ПИ 1.2.017—77
ВИАТ	Герметизирующая паста Катализатор АК-72	Пастообразная масса зеленовато-голубого цвета		0,5—5,0	Без подслоя	—	Шприцем или шпателем	При 15—30 °C — 3 суток	5	—	—60÷+300	—	ОСТ 38.03238—81
ВИКСИНТ У-1-18	Герметизирующая паста У-1 Продукт 401001700	Пастообразная масса белого цвета		0,5—6,0	Подслой П-9 или П-11 в сочетании с протирочной пастой № 2 или подслоя П-9+П-11	—	Шпателем или шприцем, при разбавлении бензином — кистью	При 15—30 °C — 72 ч	3	—	—60÷+300	Не применяется	ОСТ 38.03238—81, ОСТ 1.90058—72
ВИКСИНТ У-2-28	Герметизирующая паста У-2 Катализатор № 28 Жидкость 136-41	Пастообразная масса розового цвета и ее растворы		3,0—8,0	Подслой П-11 в сочетании с протирочной пастой № 2 или подслоя П-9+П-11	—	То же	При 15—30 °C — 72 ч	3	—	—60÷+300	То же	ОСТ 38.03238—81, ОСТ 1.90058—72
ВИКСИНТ У-4-21	Герметизирующая паста У-4 Катализатор № 21	Вязкотекучая масса белого цвета		0,5—6,0	То же	Не работает	.	При 15—30 °C — 72 ч	3	—	—60÷+300	.	ОСТ 38.03238—81, ОСТ 1.90058—72
ВИКСИНТ УФ-7-21	Герметизирующая паста УФ-7 Катализатор № 21	То же		0,5—10,0	Подслой П-9+П-11 или П-11 в сочетании с протирочной пастой № 2 или без протирочной пасты	—	Шприцем или кистью	При 15—30 °C — 24—48 ч	3	—	—110÷+300	.	ОСТ 38.03238—81, ТР 29-906

Марка герметика	Состояние			Жизнеспособность, ч	Подслой		Способ нанесения герметика	Режим вулканизации	Выдержка до испытания, сутки		Диапазон рабочих температур, °C		ТУ, МРТУ
	поставки	применения	работает		воздух	топливо			воздухом	топливом	в кабинах	в топливных отсеках	
ВГФ-1	Герметизирующая паста ВФ-1 Катализатор № 19	Пастообразная масса белого цвета	Резиноподобный материал	0,5—6,0		Подслой П-12Э	Шприцем или шпателем	При 15—30 °C — 24—48 ч	—	3	—60÷+250		ОСТ 38.03238—81, инструкция № 934—68
ВГФ-2	Герметизирующая паста ВФ-2 Катализатор 230-15	Пастообразная масса бледно-розового цвета		3,0—10,0	—	—	То же	При 15—30 °C — 24—48 ч	—	3	Не применяется	—60÷+250	ОСТ 38.03238—81, инструкция № 934—68
ВГФ-4-8	Герметизирующая паста ВФ-4 Катализатор 230-15 Продукт 141-50	Пастообразная масса белого цвета		2,0—10,0	—	Без подслоя	»	При 15—30 °C — 72 ч	—	3	То же	—60÷+250	ОСТ 38.03238—81
ВЭР-1	Герметизирующая паста ВР-1 Вулканизирующая паста В-3 Ускоритель — дифенилгуанидин	Пастообразная масса черного цвета		40 мин — 5 ч	—	—	»	При комнатной температуре — 48 ч	2	2	—60÷+130	—60÷+130	ТУ 38.1051106—82, ПИ 1.2.157—80
ВПГ-2Л ВПГ-2	Каучук СКТН. Минеральные наполнители. Жидкость 136-41. Диэтилдикаприлат олова или катализатора № 18. Полиэтиленполиамин или полиамид Л-18	Заливочная масса белого цвета		30—60 мин 5—10 мин	Подслой П-12Э или П-11	—	Герметики заливают в изделие шприцем или непосредственно из тары, в которой они готовятся	При 18—25 °C — 10—15 ч	2	—	—60÷+250	—	ОСТ 1.90049—72
ВПГ-300	Паста ВПГ. Жидкость 136-41. Катализатор № 73	То же		2—10 мин	Не требуется		Заливкой в изделие	При комнатной температуре — 24 ч	3	—	—80÷+300	—	ТУ 1-595-62—79, ТР 29-1098

Особенности применения герметиков

1. Толщина слоя герметика должна быть прямо пропорциональна величине возможных перемещений деталей соединения относительно друг друга и в каждом конкретном случае должна отрабатываться путем испытаний образцов, как указано далее.

2. Для уменьшения отдирающих нагрузок герметики должны наноситься с плавным уменьшением толщины по краям (при поверхностном методе герметизации) (см. рис. XIV.7.5.).

3. Для предотвращения стекания слоев герметиков необходимо выдерживать герметизируемые соединения в определенных положениях.

4. Применение индивидуальной колпачковой герметизации гаек и головок болтов вместо двукратного нанесения растворов герметиков кистью на поверхности болтовых соединений позволяет повысить качество и надежность герметизации и уменьшить привес конструкций.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ГЕРМЕТИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В каждом герметичном агрегате всегда имеется ряд участков, являющихся наименее надежным в отношении герметичности. К ним относятся, во-первых, разъемные и подвижные соединения деталей и узлов и, во-вторых, силовые неразъемные соединения деталей и узлов (кроме обычных стрингерных и шпангоутных швов) в отсеках и агрегатах.

Работоспособность, а следовательно, и надежность герметичного соединения определяются следующими основными факторами:

- типом примененного герметизирующего материала и, в частности, его физико-химическими и механическими (включая адгезионные) свойствами;
- характером и величиной нагрузок, действующих на соединение;
- сроком службы изделия;
- температурным режимом работы соединения;
- размерами, геометрией и жесткостью соединения (величиной возможных взаимных перемещений деталей);
- рабочей средой (топливо, воздух, инертные газы и пр.), в которой должен работать герметик.

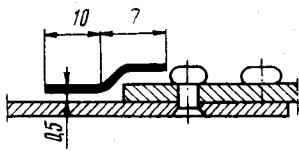
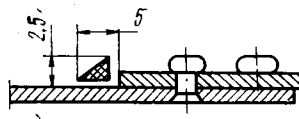
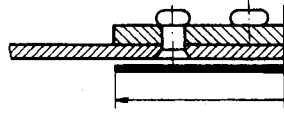
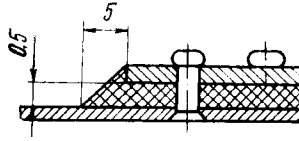
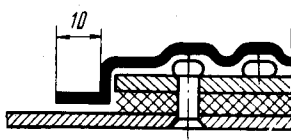
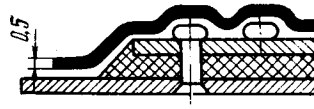
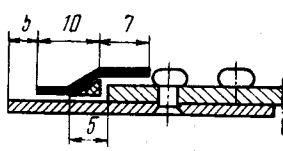
В наиболее тяжелых условиях, как правило, работают стыковые заклепочные соединения деталей и ответственные узлы герметичных конструкций, требующие применения более сложных методов и схем герметизации.

Некоторые из возможных схем герметизации стыковых и стрингерных заклепочных соединений герметиками типа У30МЭС-5 и У-2-28 приведены в табл. XIV.7.2 и XIV.7.3. Привес соединений за счет герметизации, выполняемой поверхностным, внутришовным и комбинированным методами, может составлять от 10—20 до 200—250 г/пог. м.

Трудоемкость различных вариантов герметизации соединений поверхностным методом может колебаться в пределах 200%, а комбинированным и внутришовным — в пределах 500%.

Таблица XIV.7.2

Возможные схемы герметизации стыковых швов и их оценки

Схема герметизации	Основное время на 1 пог. м, мин		Привес, г/пог. м	
	У30МЭС-5	У-2-28	У30МЭС-5	У-2-28
	6	10	30	45
	8	10	20	30
	8	11	65	95
	28	32	85	140
	38	44	145	220
	40	52	165	250
	10	12	50	75

Продолжение табл. XIV.7.2


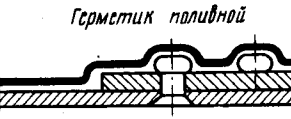


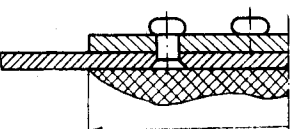
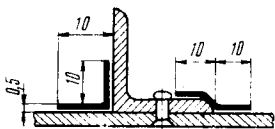
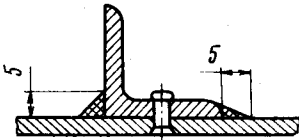
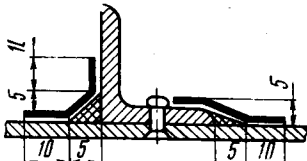
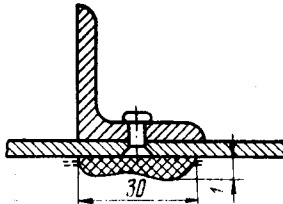
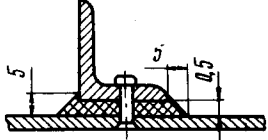
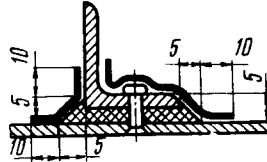
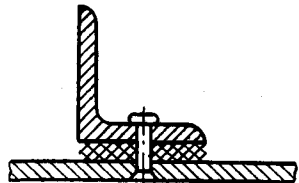
Схема герметизации	Основное время на 1 пог. м, мин		Привес, г/пог. м	
	УЗ0МЭС-5	У-2-28	УЗ0МЭС-5	У-2-28
	6	—	40—60	60—90
	—	—	950	—
	9	17	80	120
	17	20	100	150
	12	—	110	—

Таблица XIV.7.3

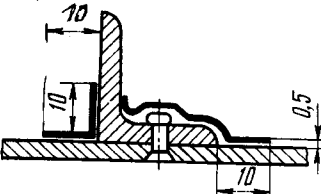
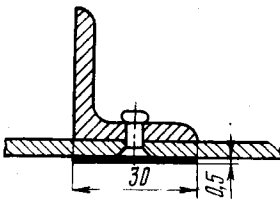
Возможные схемы герметизации стрингерных швов и их оценка

Схема герметизации	Основное время на 1 пог. м, мин		Привес, г/пог. м	
	УЗ0МЭС-5	У-2-28	УЗ0МЭС-5	У-2-28
	6	8	30	45

Продолжение табл. XIV.7.3

Схема герметизации	Основное время на 1 пог. м, мин		Привес, г/пог. м	
	УЗ0МЭС-5	У-2-28	УЗ0МЭС-5	У-2-28
	8	10	20	30
	10	12	50	75
	10	12	40	60
	18	20	40	60
	34	40	80	120
	16	20	20	30

Продолжение табл. XIV.7.3

Схема герметизации	Основное время на I пог. м мин		Привес, г/пог. м	
	УЗ0МЭС-5	У-2-28	УЗ0МЭС-5	У-2-28
	12	20	40	60
	8	10	20	40

За счет применения технологических герметичных соединений можно в несколько раз сократить цикл и трудоемкость процессов герметизации, составляющую от 3 до 25% трудоемкости их сборки, и исключить привес конструкций путем их герметизации.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СХЕМ ГЕРМЕТИЗАЦИИ И ОФОРМЛЕНИЮ ЧЕРТЕЖЕЙ ГЕРМЕТИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ОТСЕКОВ

Выбор и оценка схем герметизации соединений

1. Выбор герметизирующих материалов, а также схем и технологии герметизации всех типовых соединений и технологической последовательности сборки герметичных агрегатов нового изделия следует производить в процессе эскизного проектирования совместно с ВИАМОм и НИАТОм.

2. Многочисленность факторов, определяющих работоспособность герметичных соединений, а также большое разнообразие количественных значений этих факторов в различных изделиях не дают возможности рекомендовать единую универсальную (хотя бы для одного герметика и в пределах определенного диапазона температур) схему и технологию герметизации агрегатов.

На основании проведенных в последнее время исследований можно характеризовать поведение герметичных соединений в зависимости от их деформации и таким образом определять границы применения различных способов герметизации

с помощью величины критической деформации, превышение которой приводит к потере герметичности (рис. XIV.7.6).

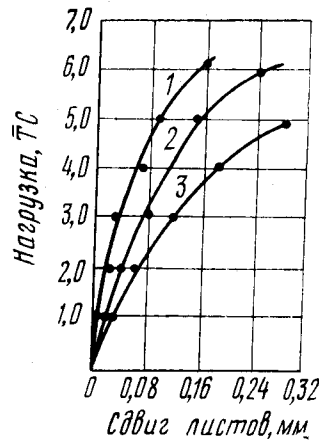


Рис. XIV.7.6. Диаграмма нагрузка — деформация сдвига:
1 — листы — титановый сплав OT4-1, $\delta = 1,5$ мм, заклепки — 3539А-4-8; 2 — листы — сталь ВНС-2, $\delta = 2$ мм, болты — 4911А-5-10; 3 — листы — сталь ВНС-2, $\delta = 2$ мм, заклепки — 3508А-5-9.

3. Способ герметизации шва разрабатывается в следующей последовательности.

Выбирают типовые швы конкретной конструкции и на их основе проектируют стандартные плоские образцы, соответствующие по размерам образцам, представленным на рис. XIV.7.7.

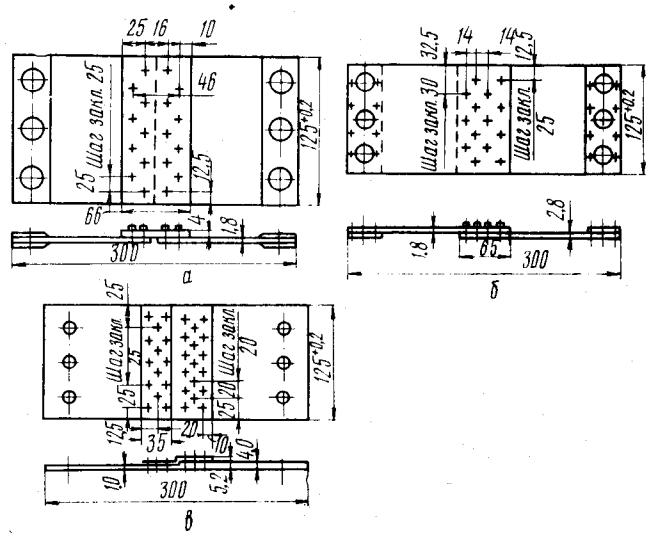


Рис. XIV.7.7. Примеры образцов клепаных швов для отработки технологии герметизации:

а — стыковой двухрядный; *б* — внахлестку четырехрядный; *в* — стыковой трехрядный.

Образцы типовых швов испытывают при ступенчатом статическом нагружении и максимальной рабочей температуре, характерной для данной конструкции. При этом измеряют сдвиг и расхождение листов у кромки нахлестки. Затем образцы доводят до разрушения для уточнения разрушающей нагрузки.

По полученным замерам строят диаграммы напряжения смятия — сдвига и напряжения смятия — поворота сечения листа (рис. XIV.7.8). Полученные диаграммы сравнивают с аналогичными диаграммами для швов, загерметизированных отработанным способом. Если деформации обрабатываемых швов соответствуют деформациям известных швов или меньше их, то следующую партию образ-

цов испытывают при нагрузках, характерных для данной конструкции, например повторных статических.

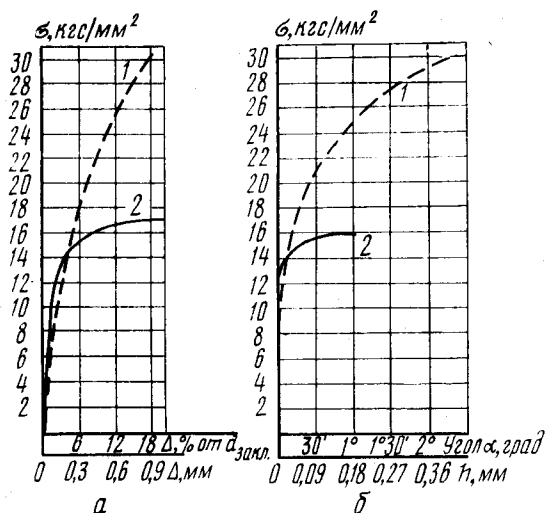


Рис. XIV.7.8. Диаграммы напряжение смятия-сдвига (а) и смятия-поворота (б) сечения листа:

1 — образец стыковой двухрядный; 2 — образец стыковой трехрядный.

4. Испытание образцов при циклических нагрузках проводят при повышенных и низких температурах, характерных для данной конструкции. Максимальное напряжение цикла соответствует расчетной нагрузке для шва, а частота нагружений выбирается из спектра частот, возникающих при работе конструкций. При первом нагружении и через определенное число циклов производят замеры деформации. Образцы следует испытывать до ресурса (определенного для конструкции), а если он не известен, то до предела статической выносливости.

5. По результатам замеров строят диаграммы напряжение (нагрузка) — деформация и сравнивают их с аналогичными для уже известных швов.

Если деформации образцов превышают деформации известных швов, то способ герметизации следует отрабатывать для каждого из герметизирующих барьеров по следующей методике. Образцы делят на несколько серий, которые отличаются друг от друга одним измененным конструктивным или технологическим параметром. Конструктивные параметры определяют способ герметизации и количество герметика, накладываемого на шов, а технологические — способы подготовки и приемы нанесения и вулканизации герметиков.

Сдвиги листов измеряются с помощью приспособления, состоящего из двух измерительных микроскопов. Одновременно со сдвигами определяется величина отхода листов в крайних точках нахлестки с двух сторон образца, вызванная поворотом его сечения. Результаты могут быть представлены в виде функций:

$$\Delta_{\% \text{ от } d_{\text{закл}}} = \frac{\Delta}{d} \cdot 100 = f_1(\sigma);$$

$$\alpha = f_2(\sigma),$$

где Δ — расстояние между рисками, мм;
 d — диаметр силовой точки, мм;
 α — угол поворота сечения образца, град.

Угол α определяется из соотношения $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{c}$,

где h — величина расхождения листов;

c — расстояние от центра заклепки в крайнем ряду до кромки нахлестки (накладки).

На непроницаемость при статических и циклических нагрузках образцы испытываются при различных температурах в среде воздуха и топлива. Перепад давления в зоне шва обеспечивается разрежением или повышением давления под колпаком, устанавливаемым на образец.

При статической нагрузке образцы испытывают ступенчато, увеличением нагрузки на $0,1P_{\text{разр}}$. Для оценки герметичности на каждой ступени нагружения образец выдерживается 30 мин. При нарушении герметичности выявляется место утечки.

При испытании повторными статическими нагрузками герметичность фиксируется через каждые 500 циклов. Испытания продолжают до предела статической выносливости. На каждом режиме испытывается не менее трех-пяти образцов.

Способность образца сохранять герметичность оценивается при:

а) статических нагрузках коэффициентом герметичности

$$\varphi_{\Gamma} = \frac{\sigma_{\text{п.г}}}{\sigma_{\text{разр}}} \leq 1,0,$$

где $\sigma_{\text{п.г}}$ — напряжение потери герметичности;

$\sigma_{\text{разр}}$ — напряжение разрушения;

б) повторных статических нагрузках условным коэффициентом герметичности

$$\beta_{\Gamma} = \frac{N_{\text{п.г}}}{N_{\text{разр}}},$$

где $N_{\text{п.г}}$ — число циклов до потери герметичности,
 $N_{\text{разр}}$ — число циклов до разрушения.

При статических нагрузках испытания проводят в среде воздуха и топлива в целях выбора технологии и способов герметизации, обеспечивающих оптимальную способность швов сохранять герметичность в условиях статического нагружения при повышенных и низких температурах.

При повторных статических нагрузках в среде воздуха и топлива испытываются образцы, загерметизированные лишь по той технологии, которая обеспечила оптимальную способность сохранять герметичность при статических нагрузках.

6. После отработки технологии выполнения каждого герметизирующего барьера по разработанному технологическому процессу с помощью отработанных способов и средств изготовляют образцы. Эту серию образцов испытывают при нагрузках, характерных для данной конструкции, в диапазоне пониженных и высоких температур.

7. При получении положительных результатов испытаний образцов исследования следует продолжить на объемных конструкциях, имитирующих изделие. Экспериментальные отсеки герметизируются несколькими методами и технологическими приемами, отработанными на плоских образцах. Испытания экспериментальных баков следует про-

водить в условиях, приближенных к эксплуатационным, по программам разработчиков конструкции.

8. После испытания экспериментальных отсеков изготавливают опытные конструкции, представляющие собой часть изделия. При их изготовлении может быть получено наиболее полное представление о применимости способов и средств герметизации, выбранных при предыдущих исследованиях. Опытные конструкции испытывают по программе ОКБ в летных условиях или при имитации этих условий.

Для повышения качества и надежности герметизированных соединений следует уменьшать величины возможных упругих деформаций и взаимных перемещений деталей.

Ввиду того, что клепанные швы по сравнению с другими видами соединений, как правило, наиболее трудоемки с точки зрения герметизации, их следует заменять сварными роликовыми (РЭС) (по стыковым швам и швам внахлестку) и точечными (ТЭС) швами (по стрингерным, шпангоутным и другим швам).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ГЕРМЕТИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ОТСЕКОВ И ОФОРМЛЕНИЮ ИХ ЧЕРТЕЖЕЙ

1. Длина подлежащих герметизации швов, а также количество крепежных отверстий внутри топливного отсека должны быть наименьшими.

2. Во многих случаях трудоемкость герметизации заклепочных соединений может быть снижена путем применения заклепок с компенсатором типа ЗУК, ЗВУК, ЗУКМ, ЗУКС, заклепок с плоской замыкающей головкой ПЗГ и стержней-заклепок вместо нанесения герметика на замыкающие головки обычных заклепок.

3. Для повышения качества и надежности герметичных соединений следует уменьшать величины возможных упругих деформаций и взаимных перемещений деталей, например, путем местного увеличения толщины листов в зоне швов.

4. Конструкция топливных отсеков, герметизируемых способом заполнения с последующим сливом герметизирующих составов, должна обеспечивать возможность полного (без наличия воздуха) их заполнения герметизирующим составом, а при испытаниях на герметичность — полного заполнения топливом.

5. Конструкция герметичных агрегатов должна обеспечивать хорошие подходы ко всем участкам герметизируемых соединений на всех этапах сборки в целях повышения качества и надежности герметизации, упрощения контроля выполнения операций технологического процесса герметизации.

6. При герметизации приборных и других воздушных отсеков вентиляционного типа необходимость герметизации замыкающих головок заклепок может быть устранена путем качественного их оформления при клепке, так как в этом случае утечек воздуха по ним не наблюдается.

7. Необходимо уменьшать число подлежащих герметизации соединений за счет вынесения стыко-

вых швов за пределы герметичных агрегатов (на пример, заменой сборно-клепанных конструкций панелей на монолитные). Болтовые, клепанные и сварные соединения следует располагать с наружной стороны герметичных отсеков (рис. XIV.7.9).

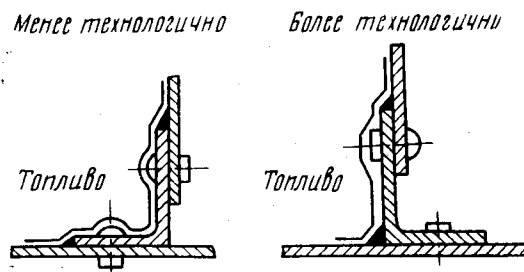


Рис. XIV.7.9. Расположение замыкающих головок заклепок и полков профилей.

8. Закрытые профили из-за трудностей обнаружения и устранения утечек и других дефектов герметизации во внутренних их полостях и герметичных агрегатах применять не рекомендуется.

9. При общей схеме герметизации отсека или агрегата поверхностным методом отдельные соединения и узлы (установка силовых узлов и фитингов) в некоторых случаях целесообразней герметизировать только внутришовным методом. Причем герметик следует закладывать между обшивкой и сопрягаемой с ней деталью.

10. Следует избегать внутришовного метода герметизации соединений цилиндрических обшивок со шпангоутами, когда по условиям сборки шпангоут должен вставляться в обшивку с торца (рис. XIV.7.10), нарушая внутришовный герметик.

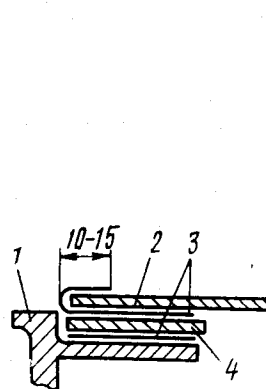


Рис. XIV.7.10. Нетехнологичное для внутришовной герметизации соединение шпангоута с цилиндрической обшивкой: 1 — шпангоут; 2 — обшивка; 3 — уплотнительная лента; 4 — стеклотекстолитовая прокладка

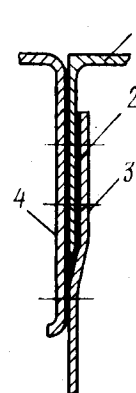


Рис. XIV.7.11. Нетехнологичный для внутришовной герметизации узел: 1 — полка; 2 — внутришовный герметик; 3 — стенка; 4 — накладка (детали 3 и 4 предварительно собраны).

11. Следует избегать конструкций, когда при внутришовном методе герметизации одна из деталей должна быть вставлена в зазор между двумя

уже собранными деталями (рис. XIV.7.11), так как при этом неизбежно повреждается внутришовный герметик.

12. Для повышения надежности и снижения трудоемкости поверхностной герметизации, проведения испытаний непроницаемости, устранения дефектов и ремонта герметичных агрегатов во всех возможных случаях следует максимально сокращать число подлежащих герметизации соединений деталей внутреннего набора путем соответствующего конструктивного оформления (рис. XIV.7.12—XIV.7.14).

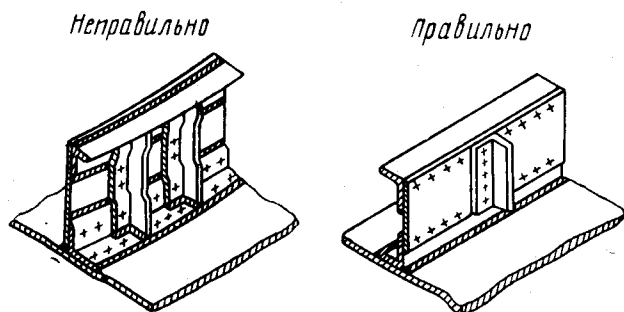


Рис. XIV.7.12. Конструктивные способы сокращения объема и повышения надежности герметизации (поверхностным методом).

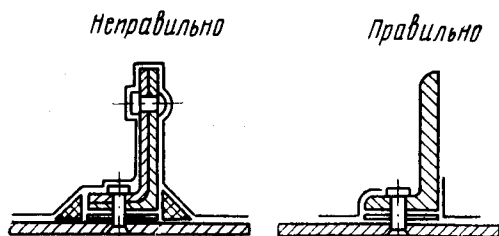


Рис. XIV.7.13. Конструктивный способ сокращения объема и повышения надежности герметизации.

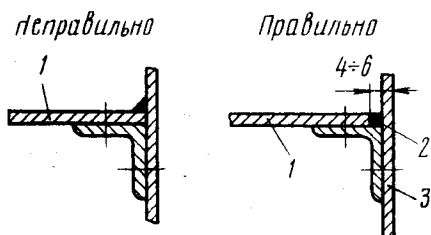


Рис. XIV.7.14. Конструктивный способ сокращения объема и повышения надежности герметизации:

1 — пол; 2 — неразжиженный герметик УЗ0МЭС-5; 3 — обшивка.

13. Необходимо предельно уменьшать число пересечений герметизируемых швов, например, в местах соединений стрингеров со шпангоутами (рис. XIV.7.15) и разделять системы герметизации продольных и поперечных элементов жесткости (рис. XIV.7.16).

14. Вместо профилей с подсечками применять, например, переходные детали (рис. XIV.7.17).

15. Для повышения качества и надежности герметичных конструкций отсеков в них следует избегать применения многослойных пакетов деталей, особенно при внутришовном методе герметизации (рис. XIV.7.18), а также в тех случаях, когда сборка деталей производится в две или в три стадии с полной вулканизацией герметика в собранных частях соединений.

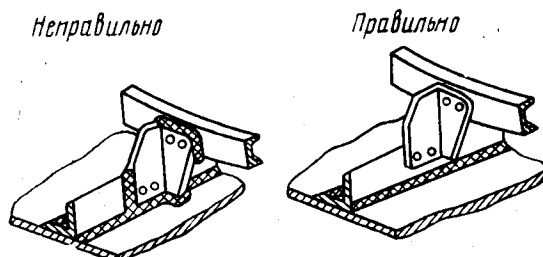


Рис. XIV.7.15. Конструктивный способ сокращения объема и повышения надежности герметизации (поверхностным методом).

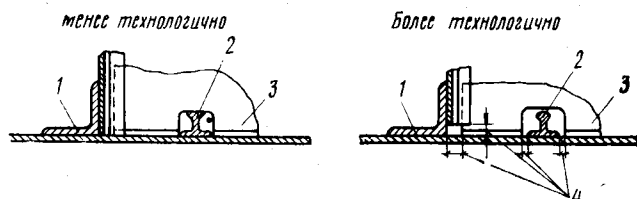


Рис. XIV.7.16. Зазоры между деталями для разделения систем герметизации:

1 — лонжерон; 2 — стрингер; 3 — шпангоут; 4 — зазор.

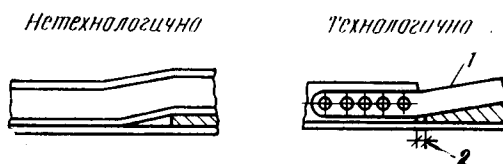


Рис. XIV.7.17. Применение переходных деталей вместо подсечки профилей:

1 — переходная деталь; 2 — обязательный зазор.

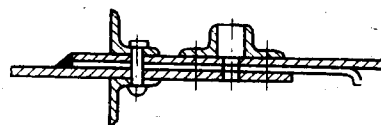


Рис. XIV.7.18. Нетехнологичный для герметизации многослойный пакет деталей.

16. Во всех возможных случаях для обеспечения высокого качества поверхности герметика, выходящего на наружный обтекаемый контур изделия, герметизацию поверхностным методом следует выполнять способом зашприцовки пастообразных самовулканизирующихся герметиков под технологический бандаж или конструктивную накладку (рис. XIV.7.19).

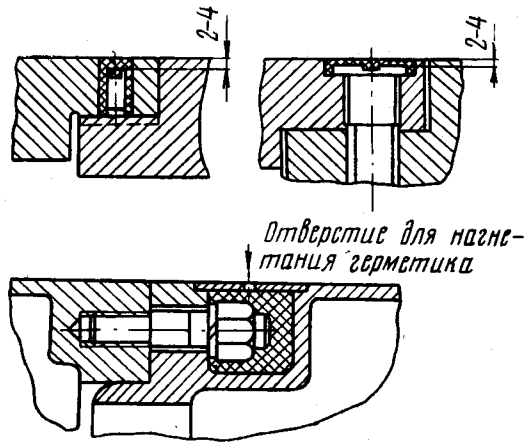


Рис. XIV.7.19. Размеры углублений для герметизации поверхностным методом.

17. Обеспечивать максимальное применение прессовой клепки.

18. Полки нервюр, перегородок и других элементов располагать снаружи, а не внутри отсеков и агрегатов.

19. Применять, по возможности, заклепки с плоско-выпуклыми головками.

20. Применять более простой конфигурации герметизирующие жгуты, располагаемые у кромок соединяемых элементов (рис. XIV.7.20).

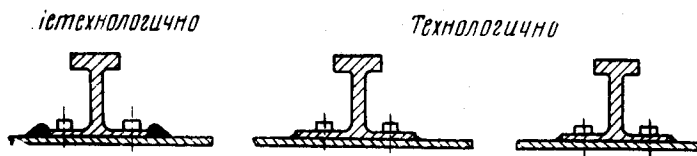


Рис. XIV.7.20. Форма поперечного сечения герметизирующих жгутов.

21. Для уменьшения привеса конструкций за счет герметизации для каждого типового клепаного или болтового шва должна разрабатываться специальная схема герметизации.

22. Во многих случаях минимальный привес конструкций за счет герметизации может быть получен применением анаэробных композиций для контровки и герметизации болтовых и других резьбовых соединений.

23. В агрегатах с сотовым наполнителем герметизации подлежат все клеевые и клееклепанные соединения, ограничивающие зоны с сотовым наполнителем; герметизацию клеевых швов выполнять по схемам, приведенным на рис. XIV.7.21.

24. В соединениях, герметизируемых нагнетанием герметика в канавки после сборки соединений, зазоры между деталями не должны превышать 0,05 мм. Для уменьшения точности сборки сопрягаемые поверхности деталей с одной или двух сторон от канавок должны быть загерметизированы внутришовным или поверхностным герметиком или резиновым шнуром.

25. Канавки для зашприцовки герметика при использовании негерметичного крепежа предпочтительно располагать по силовым точкам. Нагнета-

ние герметика в шов может производиться через отверстия под болты или заклепки, а также через специальные технологические отверстия. Ширина канавки может быть от 5 до 15 мм, а глубина от 0,5 до 1,5 мм. При этом ширина канавки должна превышать диаметр крепежа, расположенного в канавке, на 2—3 мм с каждой стороны. При установке крепежа вне канавки размеры ее могут быть равными 1—1,5 мм по глубине и 4—6 мм по ширине.

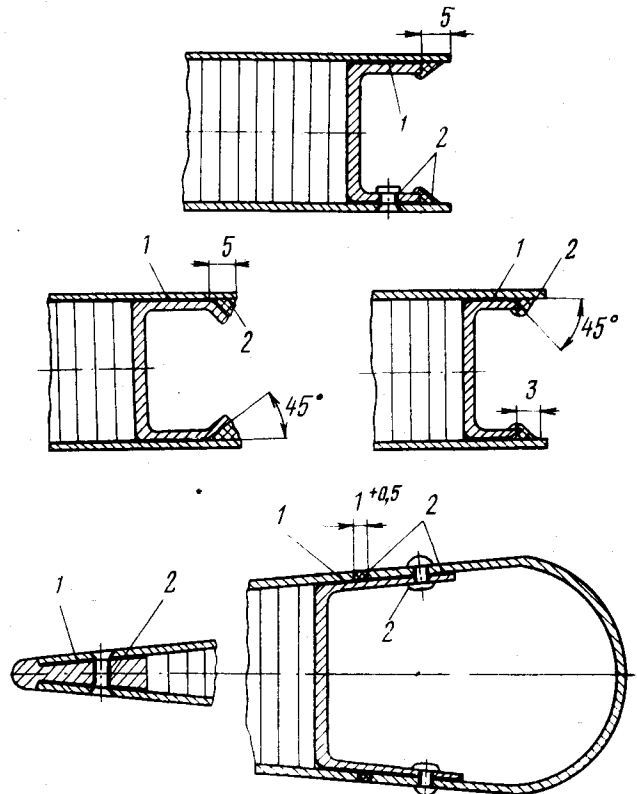


Рис. XIV.7.21. Типовые схемы герметизации агрегатов клеевой конструкции:

1 — клей; 2 — герметик.

26. Отверстия для нагнетания герметика следует располагать на расстоянии 250—500 мм друг от друга с наружной стороны герметизируемого отсека.

27. В малонагруженных герметичных швах воздушных отсеков допускается применять заклепки с сердечником. Герметизацию таких соединений следует выполнять комбинированным или поверхностным методами.

28. При использовании в соединениях отсеков болт-заклепок, при постановке которых не гарантируется непроницаемость по стержню за счет гарантированного натяга или специальных уплотнителей, выполнять их герметизацию с помощью колпачков или нанесением пастообразного герметика.

29. Отдельные панели топливных, приборных и прочих отсеков самолетов с непересекающимися изолированными швами следует герметизировать только поверхностным методом. Метод внутришовой герметизации может быть оставлен только для стыковки панелей.

30. Для удобства сборки, герметизации, нагревов для сушки, отверждения или вулканизации герме-

тика герметичные отсеки следует выделять технологическими разрезами из конструкций изделий в самостоятельные агрегаты и под сборки.

31. Для устранения возможности перезенковки гнезд под потайные головки заклепок в герметичных соединениях следует обязательно предусматривать выступание закладных головок над поверхностью обшивки не менее чем на 0,02—0,03 мм, за исключением заклепок с компенсатором.

32. В герметичных соединениях любого типа герметики не должны работать на раздир (рис. XIV.7.22).

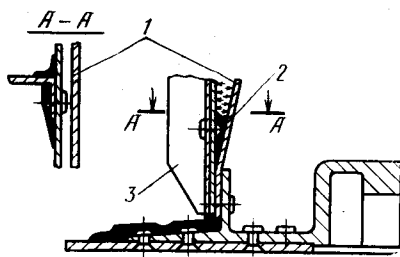


Рис. XIV.7.22. Неудачное соединение, в котором герметик работает на раздир:

1 — обшивка; 2 — место, где герметик работает на раздир; 3 — профиль.

33. Для удобства ремонта и устранения дефектов герметизации в процессе изготовления и эксплуатации агрегатов во всех топливных и приборных отсеках необходимо предусматривать специальные и смотровые люки.

34. Для каждого отсека должен быть оформлен чертеж — схема герметизации с указанием методов герметизации, марок применяемых герметизирующих материалов и подслоев, представлены схемы герметизации типовых соединений (поперечных и продольных стыков обшивки, продольного и поперечного наборов, арматуры, силовых узлов и герметичных перегородок).

35. В схеме должны быть отражены последовательность и порядок нанесения герметиков и указаны их консистенция и зоны расположения различных слоев герметизирующих материалов (рис. XIV.7.23).

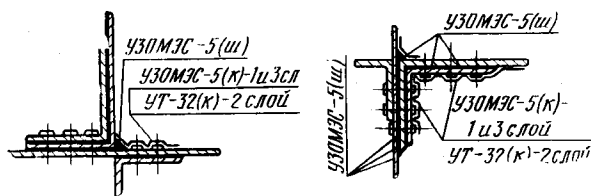


Рис. XIV.7.23. Пример оформления схем герметизации на чертежах поперечных сечений соединений.

36. В технических условиях чертежа должна быть указана допускаемая толщина герметика при прокладывании его между деталями и при заполнении им углов конструкции; кроме того, необходимо оговорить допускаемую степень негерметичности.

ЛИТЕРАТУРА

ОСТ 1.41314—81. «Герметизация поверхностная герметиком УЗМЭС-5. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41211—72. «Герметизация внутришовная. Герметизация клепаных и болтовых соединений с введением герметика УЗМЭС-5 при сборке. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41316—80. «Герметизация внутришовная. Герметизация клепаных и болтовых соединений с введением кремнийорганического герметика ВИКСИНТ У-2-28 при сборке с учетом затяжки болтовых соединений. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41403—73. «Герметизация поверхностная герметиком ВИКСИНТ У-2-28 при сборке. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41305—83. «Герметизация внутришовная. Герметизация топливных отсеков методом нагнетания герметика УЗМЭС-5. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41571—75. «Герметизация поверхностная герметиками УЗМЭС-5 и УТ-32. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41612—76. «Нанесение полисульфидных пастообразных герметиков шприцами. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.41615—76. «Нагнетание свежеприготовленного герметика УЗМЭС-5 в каналы соединений на установке УВГ-1. Типовой технологический процесс».

ОСТ 1.90058—72. «Герметики ВИКСИНТ У-1-18, ВИКСИНТ У-2-28, ВИКСИНТ У-4-21. Приготовление и применение».

РТМ-1334. Герметизация отсеков летательных аппаратов кремнийорганическими герметиками. НИАТ, 1974.

РТМ-1136. Герметизация топливных отсеков полисульфидными герметиками с применением механизированных средств. НИАТ, 1967.

РТМ-983. Герметизация заклепочных и болтовых соединений уплотнительной пастой ВИКСИНТ У-1-18. НИАТ, 1961.

РТМ-1024. Герметизация заклепочных и болтовых соединений герметиками УЗМЭС-5, УЗМЭС-10 и УТ-32. НИАТ, 1963.

РТМ-1503. Герметизация неразъемных соединений полисульфидными герметиками. НИАТ, 1975.

ТР 1.2.186—80. Приготовление и применение герметика УЗМЭС-5М.

ПИ-1.2.157—80. Приготовление и применение полисульфидных герметиков. ВИАМ, 1980.

ТУ 38-105462—80. Герметики тиколовые марок УТ-32, УЗМЭС-5 и УЗМЭС-10. ВИАМ, 1980. Изм. 2, утв. 23/ХІІ 1976 г.

ОСТ 38.03238—81. «Герметики кремнийорганические».

ПИ 1.2.017—77. Применение герметика ВГО-1, ВИАМ.

ТР 29-1098. Приготовление и применение пеногерметика ВПГ-300.

ТУ 1-595-62—79. Пеногерметик ВПГ-300.

Инструкция № 976—70. Герметик ВИТЭФ-2. ВИАМ, 1970.

Инструкция № 934—68. Приготовление и применение герметиков ВГФ-1, ВГФ-2. ВИАМ, 1968.

ТУ 38-1051106—77. Герметик ВЭР-1. ВИАМ, 1977.

ОСТ 1.90049—72. «Герметик ВПГ-2Л».

ТУ 38-105-1075—76. Герметик 51-Г-2. ВИАМ, 1976. Изм., утв. 23/І 1978 г.

ТУ 38-105-1068—76. Герметик 51-Г-9. ВИАМ, 1976. Изм., утв. 11/ІІІ 1978 г.

ТР 29-17—81. Применение герметика ВИТО-1.

ТУ 1-595-136—82. Герметик ВИТО-1.

Глава 8. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ИНТЕРЬЕРА

Создание широкофюзеляжных самолетов заставило пересмотреть вопросы проектирования и изготовления интерьера. При проектировании современного интерьера необходимо предусматривать и правильно сочетать соотношение прочности, массы, пожарной безопасности, звукопоглощаемости. Кроме того, появилось принципиально новое архитектурно-художественное решение отделки пассажирских салонов, учитывающее эстетические и эксплуатационные требования.

Основными требованиями, предъявляемыми к современному интерьеру, являются: безопасность полета, увеличение ресурса элементов интерьера, максимальная взаимозаменяемость и унификация деталей и агрегатов, высокая степень ремонтоспособности.

Решение этих задач потребовало изыскания новых конструктивных и отделочных материалов, а также новых технологических процессов при высокой степени их механизации.

В современном облегченном интерьере новыми конструктивными материалами являются: алюмопласт — комбинационный материал на базе алюминия и декоративной пленки; многослойный конструктивный слоистый материал с полимерным сотовым наполнителем ПСП-1 (на основе полимерной бумаги типа «номекс» или «фенилон») и облегченными обшивочными материалами (препрег, листовые пластики КМУ, СТП-6, КАСТ-ВС); облегченные декоративные пленочные материалы; формирующиеся пластики (типа СНПС, винипласта, поликарбонатов).

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ УЗЛОВ ИНТЕРЬЕРА СОТОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Применяемые материалы

В конструкции современного облегченного неогрующего интерьера на основе полимеросотопласта нашли применение новые легкие конструкционные и декоративные материалы (табл. XIV.8.1).

Из перечня материалов, указанных в таблице, специального описания заслуживают сотопласт ПСП-1 и препрег.

Сотопласт ПСП-1

В конструкциях интерьера (изд. 86) применяют полимерный сотовый наполнитель ПСП-1 двух типоразмеров (сторона ячейки шестигранника 2,5 и 3,5 мм).

Сотопласт марки ПСП-1 представляет собой ячеистый материал с шестигранной формой ячейки, полученный на основе полимерной бумаги «номекс» или «фенилон», клея ВК-25 и пропитывающего состава БФОС. Сотопласт ПСП-1 применяется в качестве легкого наполнителя в многослойных конструкциях различного назначения.

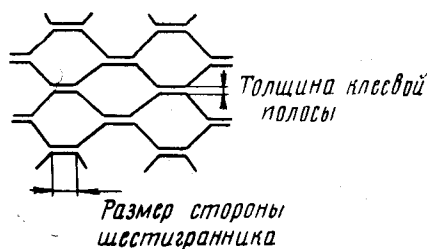
Свойства сотопласта марки ПСП-1 зависят от толщины применяемой бумаги, размера ячейки и процента содержания пропитывающего состава.

Сотовые наполнители с шестигранной формой ячейки достаточно технологичны. Они позволяют

Таблица XIV.8.1

Наименование материалов	Марка	ТУ, ГОСТ, ТР	Назначение
Сотопласт	ПСП-1	ТУ 1-596-103-82	Заполнитель слоистых конструкций
Препрег	ЭП-1М	ТУ 1-595-15-75	Обшивки панели
Препрег сетчатый	ЭП-1М-ЛА	ТУ 1-595-15-75	Промежуточный слой между перфорированной обшивкой и сотовым наполнителем
Углепластик	КМУ-ЗЛН	ТУ 05-191-124-77	Листовые прессованные обшивочные материалы
Листовой пластик	КАСТ-ВС	ТУ 6-11-453-77	То же
Алюмопласт			Листовой обшивочный материал, дублированный декоративной пленкой
Декоративная поливинилхлоридная пленка	ПДО-А20 ПДО-А3-25	ТУ 400-1-114-77	Декоративный облицовочный материал
Заливочная паста	ВПЗ-1	ТР № 7-1189	Для заделки торцов и арматуры
Клеи:	ВК-24М	ТУ 6-05-151-22-74	Для приклейки обшивки
	ВК-45	ТР 1.2.182-80	Для приклейки полихлорвиниловой пленки
	ВКВ-2	ТУ 1-596-24-78	Для приклейки сот к каркасу
	88 НП	ТУ 38-105540-73	Для стыковки сотовых наполнителей, приклейки резины, вакуумных мешков

изготавливать конструкции с прямолинейной и криволинейной поверхностями: одинарной и двойной кривизны (см. рисунок).



Схематическое изображение ячейки шестигранной формы.

Направление вдоль бумаги — направление жесткости сотового заполнителя

Помимо сотопласта с ячейкой шестигранной формы освоено изготовление сотопласта с ячейкой прямоугольной формы для применения в цилиндрических деталях и в виде замкнутого таврика (флекс) для применения в конструкциях пространственной формы.

Основным методом изготовления полимерного сотового заполнителя принят блочный*, обеспечивающий стабильность свойств сотового заполнителя.

На базе автомата для нанесения и сушки клеевых полос АСП-1000 разработан комплекс оборудования для изготовления полимеросотопласта ПСП-1, который включает следующее оборудование:

— АСП-1000П — автомат для нанесения и сушки клеевых полос с намоткой в рулон;

— АСПЛ-1000 — автомат для складывания пакета;

— УКН-2375-1-1/5 — установка для склеивания пакетов сотовых заполнителей методом СВЧ-нагрева;

— РСУП-2500 — установка для растягивания и фиксации пакета в растянутом состоянии;

— УПСТ-1000 — установка для предварительной пропитки полимерной бумаги;

— УРС-1 — установка для резки блоков полимеросотопласта.

Разработанный комплекс оборудования позволит получать блоки полимеросотопласта размером $2500 \times 750 \times 600$ мм.

Блоки полимеросотопласта нарезаются на ленточно-пильном станке УРС-1 на панели размером 2500×750 мм и толщиной от 1,5 мм и более с допусками на толщину $\pm 0,15$ мм.

Сотопласт с поперечным сечением сложной конфигурации (типа «рыбки», клиновидной формы и т. д.) получают фрезерованием.

Панели с сотовым заполнителем ПСП-1, одно- или криволинейной поверхности (одинарной и двойной кривизны), получают выкладкой сотопласта в спецоснастке и формованием в процессе склеивания с обшивками.

* В настоящее время производство полимерного сотового заполнителя базируется на дольковой технологии, размер панели 500×500 мм.

Размер ячеек, плотность, а также высоту сотового заполнителя выбирают, учитывая требуемую удельную прочность и технологию изготовления.

Сортамент сотопласта ПСП-1 представлен в табл. XIV.8.2.

Таблица XIV.8.2

Марка сотопласта	Размер ячейки, мм	Содержание связующего, %	Плотность, кг/м ³	σ _{сж} , кгс/см ² при 20 °С	
				средняя	минимальная
ПСП-1-2,5-45	2,5	30±5	45±5	13	9
ПСП-1-3,5-35	3,5	30±5	35±5	11	8
ПСП-1-4,2-25	4,2	30±5	25±5	8	6
ПСП-1-2,5-60	2,5	30±5	60±5	25	18
ПСП-1-3,5-50	3,5	30±5	50±5	14	11
ПСП-1-4,2-40	4,2	30±5	40±5	11	8
ПСП-1-3,5-70	3,5	45±5	70±5	30	28
ПСП-1-4,2-60	4,2	45±5	60±5	25	21

Препрег ЭП-1МП

Препрег — это предварительно пропитанные связующим стеклоткани Т-15П—76 (ТУ 6-11-491—79) или Т-45П—76 (ТУ 6-11-524—80), связующее которых в процессе формования панели прочно соединяет обшивку с сотопластом. Отсутствие специального пленочного клея значительно снижает весовые характеристики сотовых панелей.

Рулон препрега шириной 1500 мм хранят в течение двух месяцев в холодильнике в запаянном полиэтиленовом мешке.

Перед употреблением необходимо проверить липкость препрега и содержание летучих продуктов в нем. Раскрой препрега производят с учетом направления основы стеклоткани.

В перспективе предполагается в качестве основы для препрегов использовать помимо стеклоткани другие более легкие материалы на органических волокнах (угле-, бороволокнистых материалах, номексе и др.).

Классификация панелей интерьера по технологическим признакам

Технологические процессы изготовления панелей интерьера в зависимости от их назначения могут быть подразделены на пять основных типов.

1. Изготовление силовых конструктивно-декоративных панелей с сотовым заполнителем ПСП-1 с ячейкой 2,5 мм, с обшивками из сырого препрега ЭП-1М-Т-15П—76, ЭП-1М-Т-45П—76 с последующей облицовкой декоративной пленкой ПДО-20.

2. Изготовление конструктивно-декоративных панелей интерьера с сотовым заполнителем ПСП-1 с ячейкой 3,5 мм, с лицевой обшивкой из недотвержденного препрега, дублированного декоративной пленкой ПДО-20, отперфорированной для шумопоглощения, и формование через сырой препрег (сетчатый с лицевой стороны) слоистой конструкции потолочных панелей.

3. Изготовление конструкционно-декоративных однослойных панелей сложной конфигурации (одинарной и двойной кривизны) с сотовым наполнителем ПСП-1 с ячейкой 2,5 и 3,5 мм, с обшивками из недоотвержденного препрега ЭП-1М-Т-15П-76, с выкладкой по оснастке через промежуточный слой сырого препрега и формованием слоистой сотовой конструкции в спецоснастке. Затем облицовка готовой панели декоративной пленкой ПДО-20 (панели буфетов, гардеробов и др.).

4. Изготовление силовых панелей интерьера и багажного отделения самолетов с сотовым наполнителем ПСП-1 с ячейкой 2,5 и 3,5 мм, с обшивками из листовых прессованных пластиков КМУ-3Н, КАСТ-ВС (в перспективе ВВП-3, органит-7Т) на клее ВК-24М (клеевой вариант) — панели пола, ступеньки, перегородки, полки багажного отделения.

5. Изготовление силовой конструктивно-декоративной детали с ПСП-1 с ячейкой 2,5 мм, с обшивкой с лицевой стороны из формованного алюминия на клее ВК-24М и с обшивкой из листового пластика КАСТ-ВС на клее ВК-24М с другой стороны — створка багажной полки.

Панели интерьера должны отвечать следующим требованиям по прочности склейки сотового наполнителя с обшивками:

1. Для панелей с сотовым наполнителем с ячейкой 2,5 мм и $\gamma = 45 \pm 5 \text{ кг/м}^3$ отрыв обшивки должен

осуществляться по разрыву сотового наполнителя: $\sigma_{отр} \geq 18 \text{ кгс/см}^2$.

2. Для панелей с сотовым наполнителем с ячейкой 3,5 мм и $\gamma = 35 \pm 5 \text{ кг/м}^3$ отрыв обшивки должен идти по разрыву сотового наполнителя: $\sigma_{отр} \geq 16 \text{ кгс/см}^2$.

3. Для панелей шумопоглощения с сотовым наполнителем с ячейкой 3,5 мм и $\gamma = 35 \pm 5 \text{ кг/м}^3$ отрыв обшивки должен идти по разрыву сотового наполнителя: $\sigma_{отр} \geq 16 \text{ кгс/см}^2$.

4. Для панелей шумопоглощения многослойной сотовой конструкции, ячейки которых заполнены волокнистым звукопоглощающим материалом марки АТМ-1, $\sigma_{отр} \geq 14 \text{ кгс/см}^2$.

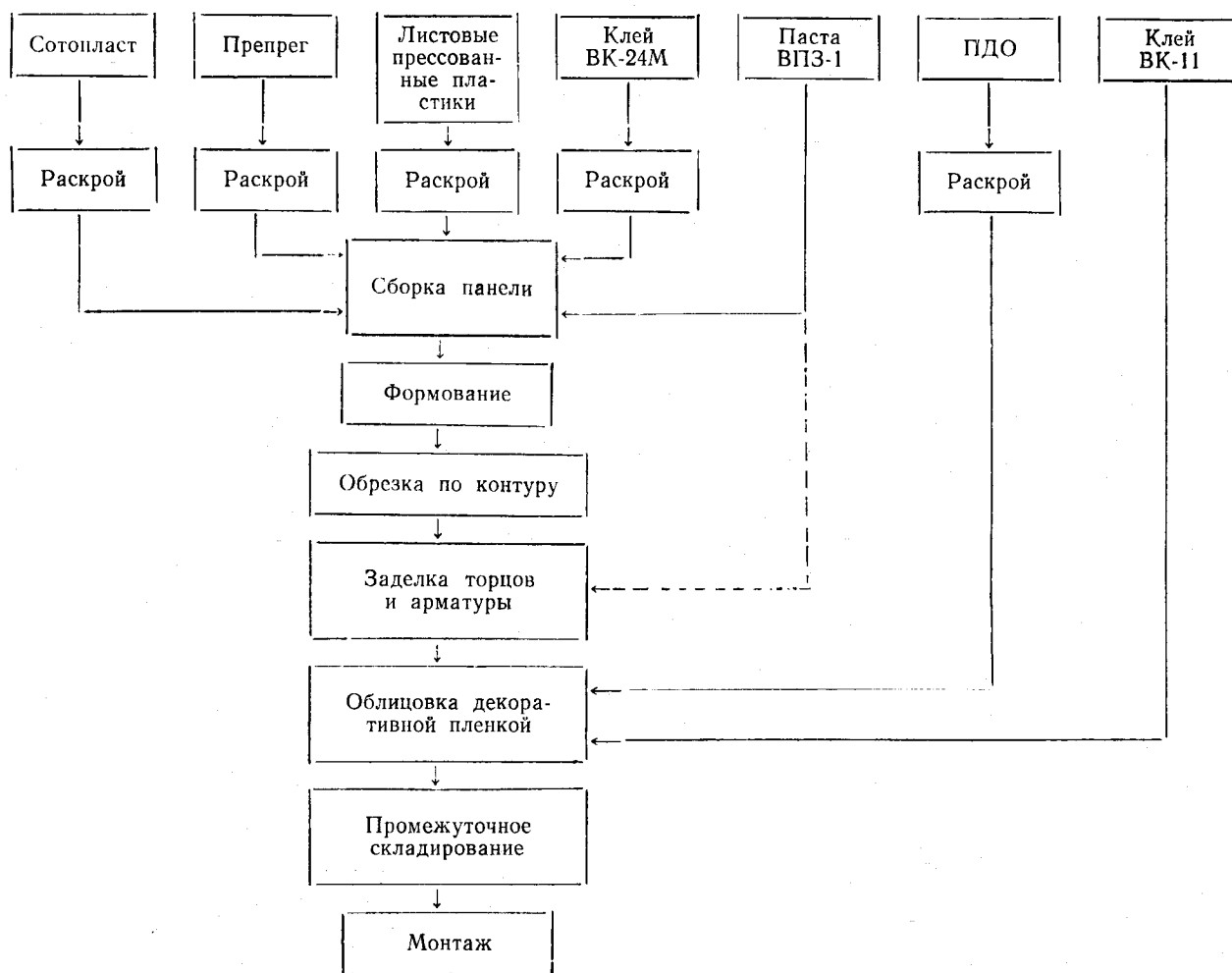
5. Прочность приклеивания сотового наполнителя ПСП-1 к алюмопласту должна соответствовать $\sigma_{отр} \geq 50 \text{ кгс/см}^2$.

6. Прочность на отслаивание декоративной поливинилхлоридной пленки с выдержкой после приклеивания не менее 5 суток должна составлять $\sigma_{отр} \geq 2 \text{ кгс/см}^2$.

7. Вклейка крепежных втулок на заливочной пасте ВПЗ-1 в сотовые панели интерьера должна обеспечивать следующие усилия по вырыву втулок под болты диаметром 4 мм из панелей:

- из панелей высотой 27 мм $R_{выр} \geq 95 \text{ кгс}$;
- из панелей высотой 11 мм $R_{выр} \geq 75 \text{ кгс}$;
- из панелей высотой 6 мм $R_{выр} \geq 65 \text{ кгс}$.

Весовые характеристики сотовых панелей интерьера зависят от ряда факторов: высоты и плот-



ности сотового заполнителя; количества слоев обшивочного материала; наличия декоративной пленки в слоистой панели.

Один квадратный метр потолочной панели, полученной из одного слоя препрега на основе стеклоткани Т-15П-76 или Т-45П-76 и сотового заполнителя ПСП-1 с ячейкой 3,5 мм и высотой сот 5-7 мм весит 0,9-1 кг, а аналогичной панели с декоративной поливинилхлоридной пленкой ПДО-1,3-1,7 кг.

Масса квадратного метра акустической перфорированной панели, имеющей дополнительный слой сетчатого препрега, составляет 1,6 кг.

Масса перегородок несколько выше и зависит главным образом от высоты и плотности сотов: при высоте сотов 15-25 мм и ячейки 2,5 мм она находится в пределах 2,4-2,6 кг/м², с декоративной пленкой — 2,9-3,3 кг/м².

Заделка торцов панели пастой ВПЗ-1 и установка арматуры на пасте ВПЗ-1 также влияют на весовые характеристики панелей интерьера.

Технологический процесс изготовления панелей интерьера включает в себя следующие операции: раскрой элементов панели, сборку их, формование

собранной панели и обрезку, заделку торцов и арматуры. В общем виде он представлен на схеме, которая в основном пригодна для всех типов панелей интерьера. Кроме того, технологический процесс включает в себя входной контроль элементов панели, промежуточный и окончательный контроль готовой панели.

ЛИТЕРАТУРА

Технологичность конструкций клеевых соединений. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций. Кн. II, Оборонгиз, 1963.

Берсудский В. Е., Крысин В. Н., Лесных С. И. Производство сотовых конструкций. М., «Машиностроение», 1975.

Павлов В. В. и др. Сотовые панели интерьера современных самолетов. — «Авиационная промышленность», 1977, № 2.

ТР № 7.1189. ВИАМ.

ТР 24-1145. ВИАМ.

ТР 24-1061. ВИАМ.

ПИ 1.2.031-77. ВИАМ.

Производство интерьеров самолетов (доклады представителей фирмы «Бойнг»), 1974.

Проспекты фирмы «Хексель» (США), 1974.

ВВЕДЕНИЕ

Основная задача неразрушающего контроля качества выпускаемой продукции состоит в том, чтобы, рационально используя эффективные методы и средства контроля, своевременно выявить технологические дефекты изделий, возникающие в процессе производства и при эксплуатации, определить причины, их порождающие, и разработать мероприятия, обеспечивающие бездефектный выпуск и безаварийную эксплуатацию авиационной техники.

Особое внимание должно быть обращено на обеспечение надежности и снижение трудоемкости контроля, что в немалой степени зависит от дефектоскопической технологичности и контролепригодности конструкций, то есть вопросов, которые должны быть рассмотрены и учтены при разработке новых изделий уже на ранних стадиях проектирования.

Методы неразрушающего контроля качества применимы для различных целей, например для входного контроля качества материалов и полуфабрикатов, для операционного контроля технологических процессов литья, сварки, пайки, склейки, клепки, сборки, для приемо-сдаточных испытаний готовой продукции, для анализа технического состояния узлов и элементов конструкций в процессе эксплуатации изделий и т. д.

Настоящая глава содержит необходимые сведения об основных физических методах неразрушающего контроля и специфических особенностях присущей им технологии, приведенные в помощь конструкторам при разработке и создании наиболее технологичных конструкций изделий авиационной техники.

В зависимости от физических факторов и явлений, лежащих в основе методов неразрушающего контроля, их группируют по видам: при использовании проникающих излучений — радиационный; упругих колебаний в звуковом и ультразвуковом диапазонах волн — акустический; магнитных и электромагнитных полей — магнитный и электромагнитный, соответственно; явления капиллярности — капиллярный; проникновения жидкостей и газов через сквозные дефекты — течеискание; тепловых полей — тепловой и др. Внутри вида методы неразрушающего контроля различаются характером используемых физических полей или веществ с контролируемым объектом, первичными информативными параметрами, способами индикации первичной информации и способами представления окончательной информации.

Глава 1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

В таблице даны сравнительные особенности основных методов неразрушающего контроля, применяемых на основе серийно выпускаемой дефектоскопической аппаратуры и других средств контроля.

Независимо от особенностей использования каждого метода дефектоскопии следует отметить ряд требований по дефектоскопической технологичности разрабатываемых изделий, которые носят общий для всех методов неразрушающего контроля характер. Выполнение этих требований снижает затраты на последующую доработку новых изделий, сокращает сроки и стоимость их освоения в серийном производстве, позволяет обеспечить безаварийную эксплуатацию изделий.

Общие требования по дефектоскопической технологичности и контролепригодности, предъявляемые к неразъемным соединениям, литым деталям и собранным узлам конструкций летательных аппаратов, состоят в следующем:

1. Конструкция нетехнологична и неконтролепригодна, если для ее контроля не может быть применен ни один из существующих методов неразрушающего контроля. Для увеличения надежности выявления возможных дефектов при проектировании изделий предпочтение следует отдавать конструкторским решениям, позволяющим применять наибольшее число методов контроля.

2. Контролепригодность может оцениваться с момента выбора материала для конструкции. Пред-

почтение следует отдавать материалам, дающим возможность применять наибольшее число методов контроля. Например, при замене стали ВНС-2 на ВНС-2М оказалось, что в связи с изменением магнитных свойств введение этой стали исключает возможность использования магнитных методов контроля, что в целом усложняет неразрушающий контроль деталей, увеличивает его трудоемкость и снижает надежность, особенно в условиях эксплуатации изделий.

3. Толщины и размеры материала конструкций, а также форма деталей должны обеспечивать возможность проведения неразрушающего контроля одним или несколькими методами по оптимальным, с точки зрения выявляемости дефектов, схемам и методикам. При этом каждым методом контроля предъявляются специфические требования по обеспечению доступа к контролируемому участку со средствами неразрушающего контроля, а также по размещению и перемещению этих средств в соответствии с оптимальными схемами. Эти требования рассматриваются ниже в соответствующих главах.

4. На контролепригодность конструкции влияют также характер и режимы технологического процесса ее изготовления. Например, скорость сварки влияет на образование крупнозернистой структуры металла сварного шва, вызывающей повышенное затухание УЗК, снижающей чувствительность ультразвукового метода, что вынуждает применять его в сочетании с другими методами неразрушающего контроля. Следовательно, выбор рациональной технологии изготовления деталей должен проводиться с учетом обеспечения наименьшей трудо-

емкости и стоимости контроля при достаточной надежности выявления возможных технологических дефектов.

5. При проектировании изделий необходимо вводить научно обоснованные нормы допустимых дефектов конструкций, учитывающие влияние дефектов на механические (эксплуатационные) свойства контролируемых объектов. Эта оценка должна включать в себя характеристику влияния дефектов на прочность деталей в связи с различной чувствительностью неразъемного соединения и литой детали к дефектам различного характера и размеров, их расположением и ориентацией в поле напряженного состояния, условиями работы конструкции (режим, степень и длительность нагружения, влияние среды, характер и концентрация напряжений и т. д.). Четкое и обоснованное определение допустимых дефектов позволяет выбрать наиболее эффективный и экономически целесообразный метод неразрушающего контроля.

6. Конструкция изделий должна обеспечивать высокую производительность контроля, в частности возможность механизации и автоматизации операций установки контролируемых объектов и средств неразрушающего контроля в требуемое положение, а также взаимное перемещение их в процессе контроля с помощью специальных манипуляторов. При этом необходимо, чтобы разрабатываемая деталь или узел могли бы контролироваться на уже имеющемся разработанном оборудовании, сведения о котором содержатся в разделах по отдельным методам неразрушающего контроля. Благодаря этому может быть достигнута максимальная технологическая приемственность нового изделия.

Глава 2. РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

СУЩНОСТЬ И ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ

В основе радиационных методов обнаружения дефектов лежат законы ослабления ионизирующих излучений веществом и способы регистрации интенсивности излучения за просвечиваемым объектом.

С помощью радиационных методов дефектоскопии возможно обнаружение в контролируемых объектах макроскопических дефектов — нарушений сплошности или однородности материалов, нарушений внутренней конфигурации деталей, узлов и изделий при их изготовлении или эксплуатации. Наибольшее применение в промышленности получили два основных метода радиационного неразрушающего контроля с использованием рентгеновского и гамма-излучения: радиографический, при котором теневое изображение просвечиваемых элементов конструкций регистрируется на рентгенографической пленке после ее химико-фотографической обработки, и радиоскопический, при котором изображение наблюдается непосредственно во время просвечивания на преобразователе ионизирую-

щего излучения в видимый свет или на телевизионном экране. В качестве преобразователей изображения в этом случае используются флюороскопические экраны, сцинтилляционные кристаллы, рентгеновские электронно-оптические преобразователи изображения (РЭОП), а также передающие телевизионные трубки, чувствительные к рентгеновскому излучению (рентгеновидиконы).

Радиационный контроль деталей и изделий содержит следующие основные операции: разметку и маркировку контролируемых участков; размещение и фиксацию кассеты с рентгенографической пленкой или преобразователя излучения вплотную к контролируемому участку; размещение и фиксацию источника излучения в соответствии с рекомендуемыми схемами просвечивания на расстоянии 50—75 см от рентгенографической пленки при радиографии и 10—30 см от преобразователя изображения при радиоскопии; просвечивание. Расшифровка рентгеновских изображений и разбраковка деталей проводятся при радиографии после химико-фотографической обработки пленки по радиографическим снимкам, а при радиоскопии — непосредственно во время просвечивания по наблюдаемому изображению.

Характерные размеры дефектов, выявляемых по рентгеновским и гамма-снимкам, зависят от вида дефекта, толщины и вида материала (табл. XV.2.1).

Таблица XV.2.1

Характерные размеры дефектов в направлении просвечивания
мм

Вид выявляемого дефекта	Толщина материала		
	2,5	10,0	20,0
<i>Сталь</i>			
Трещины и непровары с шириной раскрытия 0,025 мм	0,1	0,2	0,3
Шлаковые включения и включения вольфрама, газовые поры	0,25	0,3	0,5
<i>Сплавы на основе алюминия</i>			
Трещины и непровары с шириной раскрытия 0,025 мм	0,2	0,3	0,4
Окисные включения, включения вольфрама, газовые поры	0,3	0,5	1,0

Примечания:

1. Выявляемость трещин приводится в таблице при направлении просвечивания, составляющем угол с плоскостью раскрытия дефекта не более 10–15°.

2. Радиографический метод рентгено- и гамма-дефектоскопического контроля не выявляет мелких дефектов типа закалочных и шлифовочных трещин, а также дефектов, размеры которых (по ширине раскрытия и протяженности в направлении просвечивания) лежат за пределами чувствительности радиографического метода при оптимальных схемах и режимах просвечивания контролируемых объектов.

При углах между плоскостью раскрытия трещин и направлением просвечивания, больших 15°, выявляемость трещин ухудшается. В этих случаях выявляются трещины с шириной раскрытия более 0,05 мм. Трещины, заполненные продуктами окисления, маслом или другими загрязнениями, при просвечивании выявляются плохо. Трещины усталостного или иного характера с шириной раскрытия менее 0,025 мм не выявляются даже при благоприятных условиях и оптимальных режимах просвечивания.

Производительность радиографического метода контроля составляет 2–4 пог. м сварного шва в час, или 1–2 м² литья в час. Трудоемкость контроля 1 пог. м сварного шва 1–2 нормо-ч, а 1 м² литья — 1,5–3,0 нормо-ч. При механизации и автоматизации операций просвечивания его трудоемкость снижается примерно в два раза.

Радиоскопический метод контроля не требует применения рентгенографической пленки и поэтому имеет в 3–5 раз меньшую трудоемкость и во столько же раз меньшую стоимость по сравнению с радиографическим. Относительная контрастная чувствительность метода характеризуется данными табл. XV.2.2. Разрешающая способность преобразователей изображения в 5–10 раз хуже, чем в радиографии при использовании рентгенографических пленок I класса.

Документальность радиоскопического контроля обеспечивается фото- и киносъемкой изображений

на преобразователе изображения или телевизионном экране, а также применением средств магнитной видеозаписи.

Таблица XV.2.2

Относительная контрастная чувствительность к выявлению дефектов радиоскопического метода неразрушающего контроля, %

Тип преобразователя излучения	Пределная разрешающая способность, пар. линий/мм	Толщина контролируемого материала, мм					
		сталь			алюминий		
		2	5	15	6	15	30
Флюороскопический поликристаллический экран	3	8	12	—	15	5,5	4,5
Сцинтилляционный монокристаллический экран	5	6	3,5	9	6,2	3,2	2,5
Рентгеновский электронно-оптический преобразователь	1,2	15	8	3	5,5	2,7	2,5
Рентгеновидикон	25	3	2,5	—	2,3	2,8	—

Радиационная безопасность при использовании источников ионизирующих излучений достигается сооружением защитных устройств, увеличением расстояния между источником излучения и обслуживающим персоналом, сокращением времени облучения.

Стационарная защита (стены, перекрытия полов и потолков, дверных проемов, смотровых окон и т. д.) и передвижные устройства защиты (защитные кожухи гамма-установок и рентгеновских трубок, контейнеры для перевозки и хранения радиоактивных препаратов, защитные кабины, экраны, ширмы и т. д.) сооружаются с учетом максимального напряжения и тока применяемой рентгеновской трубки, а также типа и максимальной активности радиоизотопного источника излучения.

Кроме биологической защиты, лаборатории радиационной дефектоскопии оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией, освещением, отоплением, средствами дозиметрии и противопожарными средствами в соответствии с действующими санитарными нормами и правилами. Сооружение и эксплуатация этих лабораторий согласуются с органами санитарно-эпидемиологического надзора.

К работам по радиационной дефектоскопии допускаются обученные и аттестованные работники, усвоившие в установленном объеме необходимые знания по дефектоскопии, а также правила охраны труда и техники безопасности, имеющие соответствующие удостоверения и прошедшие инструктаж. Все работники, связанные с применением источников ионизирующих излучений, должны регулярно проходить медицинский осмотр и не иметь противопоказаний по работе с источниками излучений.

Результаты радиационно-дефектоскопического контроля (рентгеновские и гамма-снимки, лабораторные журналы, копии паспортов изделий, протоколы метрологических испытаний средств контроля

и т. д.) подлежат хранению в течение установленного срока в специально оборудованных хранилищах.

Методика, техника и порядок проведения работ по радиационным методам неразрушающего контроля изложены в производственной инструкции НИАТ ПИ-1.4.415—78. «Контроль сварных и паяных соединений методами радиационной дефектоскопии».

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Радиационные методы неразрушающего контроля могут применяться в процессе производства летательных аппаратов для контроля качества:

— литых заготовок корпусных деталей (отсеки, элементы фюзеляжа и т. д.), панелей (панели и элементы крыла, оперения, фюзеляжа), а также конструктивных элементов типа кронштейнов, качалок, рычагов, фланцев и т. д.;

— сварных соединений листового материала, профилей и труб (шпангоуты, нервюры, балки, трубопроводы и т. д.), сварных соединений деталей, обрабатываемых резанием (рамы, подкосы, фланцы трубопроводов и т. д.), и других деталей;

— паяных соединений трубопроводов, наконечников, фланцев и других деталей;

— собранных узлов и механизмов изделий, контролируемых в целях определения нарушений целостности и взаимного расположения внутренних деталей, а также в процессе эксплуатации изделий для анализа технического состояния элементов конструкции и правильности взаимного расположения деталей внутри узлов и механизмов летательных аппаратов.

Виды дефектов, которые могут быть выявлены радиационными методами, указаны в табл. XV.2.3.

Таблица XV.2.3

Виды дефектов

Контролируемые объекты	Виды дефектов
Слитки и отливки	Трещины, раковины, поры, рыхлости, включения металлические и неметаллические, неслитины, ликвации
Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением	Трещины, непровары, поры, раковины, включения металлические и неметаллические, подрезы, проплавы, прожоги, смещения кромок, утяжки
Сварные соединения, выполненные точечной и роликовой сваркой	Трещины, поры, включения металлические и неметаллические, выплески, непровары (при резко выраженной неоднородности литой зоны)
Паяные соединения	Трещины, локальное отсутствие припоя, вытекание припоя из зоны пайки, поры, инородные включения
Клепанные соединения	Трещины в головке заклепки или основном материале, зазоры между телом заклепки и основным материалом, изменение формы тела заклепки
Узлы, собранные изделия	Трещины, коррозия, нарушения сборки, отклонения размеров, зазоры, перекосы, разрушение внутренних элементов, наличие посторонних объектов во внутренних полостях

Применение радиационных методов контроля должно быть обосновано соответствием требований на изготовление, приемку и эксплуатацию деталей и узлов техническим характеристикам методов по чувствительности к дефектам и производительности контроля.

При радиографическом контроле источники и энергию излучения следует выбирать в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала по данным табл. XV.2.4—XV.2.6, устанавливающих область применения радиографии.

Таблица XV.2.4

Область применения радиографического метода неразрушающего контроля при использовании рентгеновских аппаратов

Толщина просвечиваемого материала, мм				Напряжение на рентгеновской трубке, кВ, не более
железо	титан	алюминий	магний	
0,04	0,1	0,5	1,5	20
0,4	1	5	14	40
0,7	2	12	22	50
1	3	20	35	60
2	6	38	57	80
5	10	54	80	100
7	18	59	105	120
10	24	67	120	150
21	47	100	160	200
27	57	112	200	250
33	72	132	240	300
46	106	210	310	400
150	265	430	650	1000

Таблица XV.2.5

Область применения радиографического метода неразрушающего контроля при использовании гамма-дефектоскопов

Толщина просвечиваемого материала, мм				Закрытые радиоизотопные источники
железо	титан	алюминий	магний	
1—20	2—40	3—70	10—200	¹⁷⁰ ₆₉ Tm
5—80	10—120	40—350	70—450	¹⁹² ₇₇ Ir
10—120	20—150	50—350	100—500	¹³⁷ ₅₅ Cs
30—200	60—300	200—500	300—700	⁶⁰ ₂₇ Co

Сравнительные особенности основных методов неразрушающего контроля, обеспеченных серийным выпуском аппаратуры и других средств контроля

Вид неразрушающего контроля	Радиационный		Акустический					Магнитный		Капиллярный				Электромагнитный	Оптический		
Метод неразрушающего контроля	Радиографический	Радиоскопический	Эхо-метод	Теневой	Резонансный	Велосиметрический	Импедансный	Магнитопорошковый	Магнитографический	Цветной	Люминесцентный	Люминесцентно-цветной	Фильтрующих частиц				
Основные виды выявляемых дефектов	Внутренние, ориентированные в направлении просвечивания трещины и непровары; внутренние поры, раковины, инородные включения, прожоги, подрезы, ликвация и др.		Внутренние трещины и непровары любой ориентации, непоклей, непропай, внутренние поры, раковины, инородные включения, расслоения, коррозия и др.		Расслоения, пористость, раковины, инородные включения, неслитины, трещины и др.	Ориентированные параллельно поверхности деталей расслоения, непоклей, непропай	Толщинометрия деталей	Расслоения и непоклей площадью 1,5—15 см ²	Непропай, непоклей, расслоения и др.	Выходящие на поверхность трещины и непровары, флокены, волосовины, неметаллические включения, пустоты, расслоения, пористость и др.	Поверхностные и подповерхностные трещины и непровары, неметаллические включения, пористость, пустоты, расслоения и др.	Открытые поверхностные трещины и непровары, пористость, волосовины, заковы, коррозия и др.			Открытые поверхностные трещины, пустоты и др.	Поверхностные и подповерхностные трещины, расслоения и др. Толщинометрия гальванических и других защитных покрытий	Поверхностные трещины, раковины, поры, заぼны, коррозия и др.
Основная область применения	При использовании рентгеновского и гамма-излучения с энергией фотонов 0,01—35 Мэв — контроль литых деталей, сварных и паяных соединений, а также собранных узлов и механизмов из любого материала толщиной до 500 мм по стали	При использовании рентгеновского излучения с энергией фотонов 10—250 кэВ — контроль литых деталей, сварных и паяных соединений, а также собранных узлов и механизмов из любого материала толщиной до 15 мм по стали	Контроль литых деталей, сварных и паяных соединений, а также собранных узлов и механизмов из металлов с мелкозернистой структурой и неметаллов толщиной от 3—5 мм до нескольких метров с шероховатостью поверхности не более Rz √ для контактного способа		Контроль листовых и цилиндрических литых деталей, сварных, клеевых и паяных соединений толщиной 0,1—50 мм с шероховатостью поверхности не более Rz √ из металлов с мелкозернистой структурой и неметаллов	Контроль слоистых деталей из неметаллических и комбинированных (металл—неметалл) материалов толщиной до 50 мм	Контроль паяных и клеевых соединений элементов слоистых конструкций из металлов и неметаллов	Контроль сплошности поверхности деталей и узлов из магнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью не менее 40 и с шероховатостью поверхности не более Rz √	Контроль деталей и узлов из магнитных материалов толщиной менее 18 мм	Контроль сплошности поверхности деталей из немагнитных материалов, а также деталей из магнитных сплавов в случаях, когда применение магнитных методов контроля затруднено или невозможно при небольшом и среднем объемах работ по контролю	Контроль сплошности поверхности деталей с шероховатостью поверхности не более Rz √ из немагнитных материалов, а также деталей из магнитных сплавов в случаях, когда применение магнитных методов контроля затруднено или невозможно при среднем и большом объеме работ по контролю	Контроль сплошности поверхности деталей с шероховатостью поверхности не более Rz √ из немагнитных материалов, а также деталей из магнитных сплавов в случаях, когда применение магнитных методов контроля затруднено или невозможно при малом объеме работ по контролю	Контроль поверхности деталей и изделий со сквозной пористостью	Контроль сплошности поверхности деталей, имеющих металлические и неметаллические покрытия	Обнаружение поверхностных дефектов и анализ технического состояния внешних и внутренних (при наличии каналов для доступа средств контроля) поверхностей литых деталей, сварных и паяных соединений, а также собранных узлов и механизмов		
Преимущества метода	1. Высокая чувствительность к выявлению внутренних пор, раковин, включений и т. п. 2. Возможность определения характера, формы и размеров выявляемых дефектов. 3. Документальность контроля	1. Удовлетворительная чувствительность к выявлению внутренних пор, раковин, включений и т. п. 2. Возможность определения характера, формы и размеров выявляемых дефектов. 3. Документальность контроля 4. Высокая производительность контроля	1. Высокая чувствительность к выявлению внутренних трещин и непроваров. 2. Высокая производительность контроля. 3. Портативность оборудования, возможность контроля в полевых условиях. 4. Возможность одностороннего подхода к контролируемому объекту	1. Высокая чувствительность к выявлению внутренних пор, расслоений, включений и т. п. 2. Высокая производительность контроля. 3. Портативность оборудования, возможность работы в полевых условиях 4. Возможность одностороннего подхода к контролируемому объекту	1. Высокая чувствительность к выявлению внутренних пор, расслоений, включений и т. п. 2. Высокая производительность контроля. 3. Портативность оборудования. 4. Возможность одностороннего подхода к контролируемому объекту	1. Высокая чувствительность к выявлению расслоений и непоклеев. 2. Высокая производительность контроля. 3. Возможность одностороннего подхода к контролируемому объекту	1. Высокая чувствительность к выявлению неспаев и непоклеев. 2. Высокая производительность контроля. 3. Возможность одностороннего подхода к контролируемому объекту, исключение контактной смазки	1. Высокая чувствительность к выявлению поверхностных трещин, непроваров и других дефектов. 2. Высокая производительность контроля. 3. Простота расшифровки результатов контроля	1. Высокая чувствительность к выявлению поверхностных трещин, непроваров и других дефектов. 2. Высокая производительность контроля. 3. Документальность контроля	1. Высокая чувствительность к выявлению поверхностных трещин, непроваров и других дефектов. 2. Простота расшифровки результатов контроля в один прием широких зон деталей различной сложности 3. Возможность автоматизации и механизации основных операций контроля	1. Высокая чувствительность к выявлению поверхностных трещин, непроваров и других дефектов. 2. Простота расшифровки результатов контроля. 3. Возможность контроля в один прием широких зон деталей различной сложности 4. Возможность автоматизации и механизации основных операций контроля	1. Высокая чувствительность к выявлению поверхностных трещин, непроваров и других дефектов. 2. Простота расшифровки результатов контроля. 3. Возможность контроля в один прием широких зон деталей различной сложности 4. Возможность автоматизации и механизации основных операций контроля	1. Высокая чувствительность к выявлению поверхностных трещин, непроваров и других дефектов. 2. Простота расшифровки результатов контроля. 3. Портативность оборудования. 4. Возможность одностороннего подхода к контролируемому объекту.	1. Высокая чувствительность к выявлению поверхностных трещин, непроваров и других дефектов. 2. Простота расшифровки результатов контроля. 3. Портативность оборудования. 4. Возможность одностороннего подхода к контролируемому объекту.	1. Простота контроля. 2. Несложное оборудование. 3. Сравнительно небольшая трудоемкость. 4. Документальность при использовании соответствующих средств контроля		
Недостатки метода	1. Недостаточная чувствительность к выявлению произвольно ориентированных трещин и непроваров. 2. Необходимость обеспечения радиационной безопасности контролеров. 3. Сравнительно высокая трудоемкость контроля. 4. Необходимость двустороннего подхода к контролируемому объекту	1. Низкая чувствительность к выявлению произвольно ориентированных трещин и непроваров. 2. Необходимость обеспечения радиационной безопасности контролеров. 3. Необходимость двустороннего подхода к контролируемому объекту	1. Невозможность определения характера, формы дефектов и условность определения их размеров. 2. Отсутствие документальности контроля	1. Недостаточная чувствительность к выявлению внутренних трещин, непроваров. 2. Невозможность определения характера, формы и размеров выявляемых дефектов. 3. Отсутствие документальности контроля	1. Неточность определения размеров выявляемых дефектов. 2. Отсутствие документальности контроля	1. Недостаточная чувствительность к выявлению внутренних пор, раковин, включений и т. п. 2. Неточность определения размеров дефектов	1. Недостаточная чувствительность к выявлению расслоений. 2. Неточность определения размеров дефектов	1. Недостаточная чувствительность к выявлению внутренних дефектов, особенно пор и раковин. 2. Необходимость тщательной очистки деталей перед контролем и после него. 3. Необходимость защиты контролеров от воздействия некоторых дефектоскопических материалов. 4. Трудность удаления проникающей жидкости с поверхности деталей. 5. Повышенная коррозионная опасность для алюминиевых, магниевых и других сплавов	1. Недостаточная чувствительность к выявлению внутренних дефектов. 2. Необходимость тщательной очистки деталей перед контролем и после него. 3. Необходимость защиты контролеров от воздействия некоторых дефектоскопических материалов. 4. Возможность применения только для поверхностей с шероховатостью не более Rz √	1. Невозможность выявления внутренних дефектов. 2. Необходимость тщательной очистки деталей перед контролем и после него. 3. Необходимость защиты контролеров от воздействия некоторых дефектоскопических материалов. 4. Трудность удаления проникающей жидкости с поверхности деталей. 5. Повышенная коррозионная опасность для алюминиевых, магниевых и других сплавов	1. Невозможность выявления внутренних дефектов. 2. Необходимость тщательной очистки деталей перед контролем и после него. 3. Необходимость защиты контролеров от воздействия некоторых дефектоскопических материалов. 4. Трудность удаления проникающей жидкости с поверхности деталей. 5. Повышенная коррозионная опасность для алюминиевых, магниевых и других сплавов	1. Невозможность выявления внутренних дефектов. 2. Необходимость тщательной очистки деталей перед контролем и после него. 3. Необходимость защиты контролеров от воздействия некоторых дефектоскопических материалов. 4. Трудность удаления проникающей жидкости с поверхности деталей. 5. Повышенная коррозионная опасность для алюминиевых, магниевых и других сплавов	1. Недостаточная чувствительность к выявлению внутренних трещин. 2. Необходимость использования большого числа датчиков при контроле деталей сложной формы. 3. Невозможность контроля деталей с изменяющимся структурным состоянием и магнитной неоднородностью материала	1. Недостаточная чувствительность к выявлению внутренних трещин. 2. Уменьшение поля контроля, глубины резкости, производительности и надежности контроля с ростом кратности увеличения приборов. 3. Зависимость выявляемости дефектов от состояния и светотехнических характеристик контролируемой поверхности			

Таблица XV.2.6

Область применения радиографического метода неразрушающего контроля при использовании бетатронов

Толщина просвечиваемого материала, мм			Энергия ускоренных электронов, МэВ
железо	титан	алюминий	
50—100	90—190	150—310	6
70—180	130—350	220—570	9
100—220	190—430	330—740	18
130—250	250—490	480—920	25
150—350	290—680	570—1300	30
150—450	290—880	610—1800	35

Область применения радиоскопии, определяющая энергию излучения и тип преобразователя изображения в зависимости от толщины и плотности контролируемого материала, приведена в табл. XV.2.7.

Таблица XV.2.7

Область применения радиографического метода неразрушающего контроля

Контролируемый материал	Толщина материала, мм	Диапазон энергий ускоренных электронов, кэВ	Преобразователь изображения	
			при контроле сварных и клепанных соединений, собранных узлов и изделий	при контроле отливок, паяных соединений, собранных узлов и изделий
Алюминий	1—15	10—120	РЭОП, рентгеновидикон + ТВ	РЭОП, рентгеновидикон + ТВ, флюороскопический экран
	15—50	50—200	РЭОП + ТВ, рентгеновидикон + ТВ	РЭОП + ТВ, рентгеновидикон + ТВ, флюороскопический экран + ТВ
	1—6	50—180	РЭОП, рентгеновидикон + ТВ	РЭОП + ТВ; сцинтилляционный монокристалл + ТВ
Железо	4—20	140—250	РЭОП + ТВ, сцинтилляционный монокристалл + ТВ	
	20—100	250—1000	Сцинтилляционный монокристалл + ТВ	Сцинтилляционный монокристалл + ТВ; РЭОП + ТВ
	Св. 100	6000—35 000	Сцинтилляционный монокристалл + ЭОУ + ТВ	

Примечание. В таблице приняты следующие сокращения:

РЭОП — рентгеновский электронно-оптический преобразователь изображения;

ЭОУ — электронно-оптический усилитель изображения;

ТВ — телевизионный канал связи.

Выпускаемые промышленностью источники излучения позволяют осуществлять радиографический контроль деталей и узлов изделий не только в стационарных условиях рентгеновских дефектоскопических лабораторий, но и непосредственно в цехах, на участках сборки изделий, и допускают размещение излучателей в труднодоступных местах конструкций. Кроме того, использование импульсных рентгеновских аппаратов, питающихся от источников постоянного тока напряжением 12 В, и гамма-дефектоскопов с ручным приводом ампулопровода дает возможность проводить радиографический контроль изделий в полевых условиях.

Радиоскопический метод контроля рекомендуется применять главным образом для контроля качества литых деталей, сварных и паяных соединений из различных сплавов. Если чувствительность и разрешающая способность радиоскопического метода не удовлетворяют требованиям по выявлению недопустимых дефектов на данную деталь или неразъемное соединение, а также если применяется многократный радиационно-дефектоскопический контроль деталей, например до и после механообработки, то радиоскопию экономически целесообразно применять как метод предварительной разбраковки деталей, а радиографию — на заключительной стадии контроля;

При разработке технической документации, утверждаемой в установленном порядке, допускается возможность использования других энергий и преобразователей изображения, кроме указанных в табл. XV.2.4—XV.2.7, при условии обеспечения разрешающей способности и чувствительности, гарантирующих выявление дефектов, недопустимых для данного изделия, в том случае, когда применение приведенных выше энергий излучения и преобразователей изображения по конструктивным особенностям изделий и условиям контроля не представляется возможным.

СРЕДСТВА РАДИАЦИОННО-ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Выпускаемые аппаратура, приспособления и другие средства контроля предназначены для выполнения основных технологических операций радиационного контроля качества изделия. Правильный выбор средств контроля позволяет достигнуть оптимальных характеристик контроля при наименьшей его стоимости.







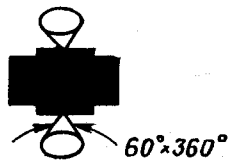
В качестве источников ионизирующего излучения в радиационной дефектоскопии используются рентгеновские аппараты, ускорители электронов (в том числе бетатроны) и радиоизотопные источники в гамма-установках. Конкретный источник излучения выбирается в зависимости от толщины материала контролируемого участка исходя из условий возможного к нему доступа, конструктивных особенностей детали или узла, их расположения в изделии, габаритных размеров и массы источников излучения (табл. XV.2.8—XV.2.11), а также типовых схем просвечивания деталей и соединений:

а) передвижные кабельные рентгеновские аппараты — для просвечивания сварных, паяных соединений, литых деталей, узлов и элементов изделий

Основные характеристики

Тип и конструктивное исполнение аппарата	Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	Тип рентгеновской трубки	Номинальный ток рентгеновской трубки, мА	Масса аппарата, кг	Напряжение питающей сети, В
РУТ-60-20-1 (передвижной кабельный)	10—60	1БПВ1-60	20	280	127; 220; 380
РУП-100-10 (портативный кабельный)	10—100	1БПВ15-100	10	200	127; 220
РУП-120-5-1 (портативный с блок-трансформатором)	50—120	0,4БПМ2-120	3	Пульт — 30; блок-трансформатор—45	220; 380
РУП-150-10-1 (передвижной кабельный)	35—150	а) 1,5БПВ7-150 с вынесенным анодом; б) 0,3БПВ6-150	10 2	670	220; 380 (3 фазы)
РУП-200-5-2 (портативный с блок-трансформатором)	70—200	0,7БПМ3-200	5	Пульт — 30; блок-трансформатор—82	220; 380
РУП-160-6П (портативный с блок-трансформатором)	50—160	0,7БПК2-160	6	Пульт — 33; блок-трансформатор—35	220

рентгеновских аппаратов

Потребляемая мощность, кВА	Максимальная толщина, мм, контролируемых сплавов на основе			Конструктивное исполнение аппарата и излучателя	Габаритные размеры, мм	
	железа	титана	алюминия		рентгеновского аппарата	защитного кожуха рентгеновской трубки
2,5	1	3	20	Передвижной кабельный 	1040×440×2030 (аппарат); 610×580×1010 (пульт)	97×135×520
2,0	5	10	54	Портативный кабельный 	900×975×560	Ø 90×490
2,0	7,5	17	59	Портативный с блок-трансформатором 	140×700×1300	300×250×540
2,5	6 10	15 24	42 67	Передвижной кабельный а  б 	1750×1390×2220 (аппарат); 602×458×910 (пульт)	а) Ø 270×880, длина вынесенного анода 230; б) Ø 270×810
3,0	21	47	100	Портативный с блок-трансформатором 	1520×880×1300	270×450×750
2,5	13	28	70	Переносной моноблочный 	500×320×230 (пульт)	Ø 300×850

Тип и конструктивное исполнение аппарата	Напряжение на рентгеновской трубке, кВ	Тип рентгеновской трубки	Номинальный ток рентгеновской трубки, мА	Масса аппарата, кг	Напряжение питающей сети, В
РУП-150/300-10 (передвижной кабельный)	35—150 70—250	а) 1,5БПВ7-150 с вынесенным анодом; б) 0,3БПВ6-150; в) 2,5БПМ4-250	10 2 10	1000	220; 380 (3 фазы)
РУП-400-5-1 (передвижной с блок-трансформатором)	250—400	1,5БПВ2-400 или 1,5БПВ3-400	5	600	220; 380
МИРА-1Д (портативный импульсный)	100	ИМА6Д	—	12	220

Таблица XV.29

Основные характеристики бетатронов для радиационной дефектоскопии

Тип	Энергия излучения, МэВ	Мощность, кВт	Продолжительность непрерывной работы, ч	Диапазон толщин контролируемых сплавов, мм, на основе			Масса электромагнита, т	Габаритные размеры электромагнита, мм
				железа	титана	алюминия		
ПМБ-6 (переносный)	3—6	6	0,25	50—100	90—190	150—310	0,1	400×520
Б-9 (транспортабельный)	2—9	3,5	16	70—180	130—350	220—570	0,75	1200×1000×1100
Б-18 (транспортабельный)	5—18	6	8	100—220	190—430	330—740	0,35—0,5	750×550
Б-25/10 (стационарный)	5—25	15	16	130—250	250—490	480—920	2,5	1200×1200
Б-30 (стационарный)	5—30	40	16	150—350	290—680	570—1300	5	1200×1700×1500
Б-35 (стационарный)	5—35	50	16	150—450	290—880	610—1800	4	1510×1570×1050



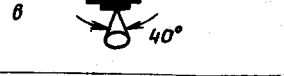

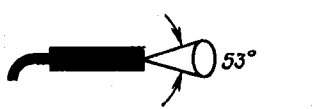
Потребляемая мощность, кВА	Максимальная толщина, мм, контролируемых сплавов на основе			Конструктивное исполнение аппарата и излучателя	Габаритные размеры, мм	
	железа	титана	алюминия		рентгеновского аппарата	защитного кожуха рентгеновской трубки
5,0	6	15	42	Передвижной кабельный   	1750×1390×2200 (аппарат); 602×458×910 (пульт)	а) Ø 270×880, длина вынесенного анода 230; б) Ø 270×810; в) 195×340×720
	10	24	67			
	27	57	112			
4,0	46	106	210	Передвижной с блок-трансформатором 	1570×900×2000 (аппарат); 610×410×715 (пульт)	Ø 550×980, длина вынесенного анода 590
0,3	4,5	12	28	Портативный импульсный 	380×300×140	Ø 80×300



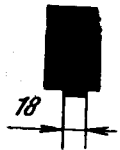
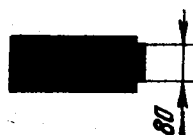
Таблица XV.2.10

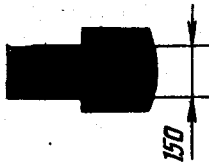
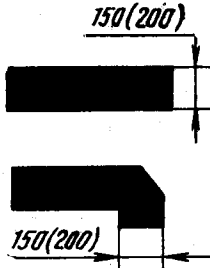
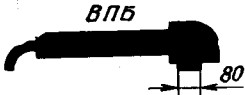
Основные характеристики гамма-дефектоскопов

Тип гамма-дефектоскопа	Источник излучения		Диапазон толщин, мм, контролируемых сплавов на основе			Габаритные размеры дефектоскопа, мм	Масса, кг
	тип	изотоп	железа	титана	алюминия		
РК-2	Ту-3	¹⁷⁰ ₆₉ Tm	1—20	2—40	5—100	1720×1700×1700	40 (со штативом — 100)
	Ce-2	⁷⁵ ₃₄ Se					
	ГИД-И-3	¹⁹² ₇₇ Ir					
	ГИД-Ц-3	¹³⁷ ₅₅ Cs					
Гаммарид-21 (РИД-11)	ГИД-И-1	¹⁹² ₇₇ Ir ¹³⁷ ₅₅ Cs ¹⁷⁰ ₆₉ Tm	1—40	1—60	1—120	240×130×264 (радиационная головка); 250×104×190 (пульт управления)	13 (радиационная головка); 9 (пульт управления)
	ГИД-И-2						
	ГИД-И-3						
	ГИД-Ц-1						
Гаммарид-23 (РИД-21М)	Ту-1	¹⁹² ₇₇ Ir ¹³⁷ ₅₅ Cs	1—60	1—80	1,5—120	280×275×160 (радиационная головка); 296×356×98 (пульт управления); 275×323×365 (магазин-контейнер)	25 (радиационная головка); 6 (пульт управления); 110 (магазин-контейнер)
	ГИД-И-1						
	ГИД-И-2						
	ГИД-И-3						
РИД-41	ГИД-И-4	¹⁷⁰ ₆₉ Tm ⁶⁰ ₂₇ Co	30—200	60—300	200—500	1600×900×780 (радиационная головка); 490×210×398 (пульт управления)	1500 (радиационная головка); 20 (пульт управления)
	ГИД-И-5						
	ГИД-Ц-1						
	ГИД-Ц-2						
«Кама»	ТУ-1	¹⁷⁰ ₆₉ Tm ⁶⁰ ₂₇ Co	30—200	60—300	200—500	1300×650×600 (магазин-контейнер)	1200 (магазин-контейнер)
	ГИД-К-6						
«Кама»	ГИД-К-7	¹⁷⁰ ₆₉ Tm ⁶⁰ ₂₇ Co	30—200	60—300	200—500	1300×650×600 (магазин-контейнер)	1200 (магазин-контейнер)
	ГИД-К-8						

Технические характеристики радиоскопических установок

Таблица XV.2.11

Интроскоп	Рекомендуемый источник излучения	Тип и размеры преобразователя изображения	Приемник рентгеновского изображения	Чувствительность к обнаружению дефектов, %	Разрешающая способность	Максимальная скорость контроля, м/мин	Габаритные размеры, мм		Область применения
							передающего блока	пульта оператора	
Прикладная телевизионная установка ПТУ-38	Рентгеновский аппарат РУП-150-10-1	Рентгеновидикон ЛИ-417 с чувствительной поверхностью диаметром 18 мм	Видеоконтрольное устройство на кинескопе 47ЛК2Б	2—5 2	20 мкм по вольфрамовой проволоке	0,3	120×130×200 (передающая камера); 192×205×255 (устройство наведения) 	460×640×1235	Контроль сварных, паяных соединений и малогабаритных литых деталей толщиной 5 мм для сплавов на основе железа, 8 мм — на основе титана, 20 мм — на основе алюминия
Прикладная телевизионная установка ПТУ-39	То же	Рентгеновидикон ЛИ-423 с чувствительной поверхностью диаметром 80 мм	Видеоконтрольное устройство на кинескопе 47ЛК2Б	2—5	60 мкм по вольфрамовой проволоке	0,3	130×145×340 (передающая камера); 192×205×255 (устройство наведения); 	460×640×1235	Контроль малогабаритных литых деталей, сварных и паяных соединений, собранных узлов и механизмов толщиной 5 мм для сплавов на основе железа, 8 мм — на основе титана, 20 мм — на основе алюминия
Прикладная телевизионная установка «Дефектоскоп-2»	Рентгеновский аппарат РУП-150-10	Рентгеновидикон ЛИ-444 с чувствительной поверхностью диаметром 18 мм	Видеоконтрольные устройства на кинескопе с диагональю 50 см — для наблюдения; с диагональю 23 см — для фотосъемки	2—4	20 мкм по вольфрамовой проволоке	0,3	Ø 140×227 (передающая камера) 	Блок канала 215×430×515. Пульт управления 320×232×83. Видеоконтрольные устройства 460×491×410 и 267×240×870	Контроль сварных, паяных соединений, малогабаритных литых деталей толщиной для сплавов на основе: железа — 5 мм; титана — 8 мм, алюминия — 20 мм
Прикладная телевизионная установка «Дефектоскоп-1»	То же	Рентгеновидикон ЛИ-473 с чувствительной поверхностью диаметром 80 мм	То же	2—4	60 мкм по вольфрамовой проволоке	0,3	Ø 140×355 (передающая камера) 	То же	Контроль малогабаритных литых деталей, сварных и паяных соединений, собранных узлов и механизмов толщиной для сплавов на основе: железа — 5 мм, титана — 8 мм, алюминия — 20 мм

Прикладная телевизионная установка «Дефектоскоп»	»	Рентгеновидикон ЛИ-447 с чувствительной поверхностью диаметром 150 мм	»	2—4	40 мкм по вольфрамовой проволоке	0,3	$\varnothing 220 \times 445$ (передающая камера) 	»	То же
Прикладная телевизионная установка «Интроскоп»	»	Сцинтилляционный монокристаллический экран диаметром 150 или 200 мм	»	3—5	5 лин/мм	1,0	$210 \times 190 \times 580$ (передающая камера) 	Блок канала $430 \times 215 \times 515$. Пульт управления $232 \times 215 \times 83$. Остальное то же, что в установках «Дефектоскоп»	»
Рентгено-телевизионный интроскоп РИ-10Т	»	Сцинтилляционный монокристалл диаметром 80 мм и толщиной 3 мм	Видеоконтрольное устройство на кинескопе 35ЛК6Б. Телевизионный приемник УЛППТ-61-П на кинескопе 61ЛК1Б	3—6 для стали; 1,5—3 для алюминия; 2—3 для титана	5 лин/мм	1,0	$\varnothing 170 \times 790$ (входной преобразующий блок); $240 \times 300 \times 405$ (блок телевизионной камеры) 	$750 \times 1010 \times 1315$	Контроль малогабаритных литых деталей, сварных и паяных соединений, собранных узлов и механизмов толщиной 10 мм для сплавов на основе железа, 24 мм — на основе титана, 30 мм — на основе алюминия
Рентгеновский флюороскоп РИ-10Ф с автономной биологической защитой	Встроенный рентгеновский аппарат РУП-200-5-2	Флюороскопический экран 200×250 мм	Зеркало 250×250 мм, линза $\varnothing 200$ мм	5—10	3 лин/мм	—	—	$755 \times 918 \times 1643$	Контроль литых деталей из легких сплавов и пластмасс толщиной до 40 мм, габаритными размерами не более $200 \times 150 \times 200$ мм и массой менее 5 кг

из сплавов на основе железа, титана, алюминия и магния в стационарных условиях рентгеновских лабораторий;

б) портативные маневренные рентгеновские аппараты кабельного типа, а также переносные моноблочные рентгеновские аппараты — для контроля деталей, элементов и узлов, сборка или сварка которых проводятся в стапелях и стендах в цеховых условиях;

в) ускорители электронов высоких энергий излучения (в частности, бетатроны) — для контроля толстостенных деталей и узлов с толщиной материала 100—450 мм по стали в стационарных условиях радиационно-дефектоскопических лабораторий;

г) гамма-дефектоскопические установки — для контроля металлов большой толщины, недоступной для просвечивания с помощью рентгеновских аппаратов, сложных агрегатов, сварных и литых узлов, конструкция которых исключает возможность рентгеновского просвечивания; кольцевых сварных швов крупногабаритных цилиндрических и сферических сварных изделий, контроль которых рентгеновским излучением, в том числе с использованием рентгеновских трубок с вынесенным анодом, менее эффективен; агрегатов, сварных соединений и литых деталей в полевых условиях, когда отсутствует рентгеновская аппаратура или нельзя применить другие методы контроля.

Рентгеновские интроскопы, применяемые для радиоскопического контроля, выбираются с учетом толщины материала и конструктивных особенностей контролируемых деталей и узлов, ширины контролируемого участка, габаритов передающего блока и размеров преобразователя излучения (табл. XV.1.12) исходя из возможности размещения передающего блока вплотную к контролируемому участку с противоположной от источника излучения стороны изделия в соответствии с типовыми схемами просвечивания. Интроскопы применяются совместно с механическими устройствами (манипуляторами), обеспечивающими транспортировку деталей в зону пучка излучения и перемещение контролируемого участка перед преобразователем изображения интроскопа с оптимальной скоростью контроля. Манипуляторы разрабатываются заводами, использующими радиоскопический контроль применительно к конкретным деталям, узлам и агрегатам.

Для выполнения работ по радиационно-дефектоскопическому контролю, помимо оборудования, упомянутого выше, лаборатория должна быть оснащена специализированным оборудованием для химико-фотографической обработки и сушки рентгеновских и гамма-снимков, средствами их просмотра и расшифровки, а также комплексом средств, предусмотренных действующими правилами радиационной, противопожарной и электробезопасности.

Средние значения размеров стыковых сварных соединений, подлежащих контролю для различных материалов и видов сварки
мм

Таблица XV.2.12

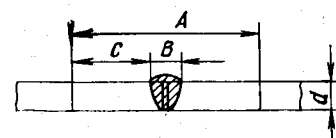
Толщина свариваемого материала d	Размеры сварных соединений из сплавов на основе								
	железа, выполненных сваркой в среде защитных газов, сваркой под флюсом и ручной электродуговой сваркой			алюминия и магния, выполненных сваркой в среде защитных газов			титана, выполненных сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
2	12	6	3	66	4	31	14	7	3,5
3	16	8	4	70	6	32	16	8	4,0
5	22	10	6	80	8	36	20	15	4,2
8	32	16	8	90	12	39	25	16	4,5
10	42	18	12	109	15	47	30	18	6,0
15	52	22	15	124	20	52	38	20	9,0
20	61	25	18	132	24	54	46	25	10,5
25	70	30	20	150	30	60	56	30	13
30	83	35	24	155	35	60	68	35	16,5
40	92	40	26	160	40	60	80	40	20
50	115	45	35	165	45	60	94	45	25
60	130	50	40	165	45	60	110	50	30

Примечания:

- В таблице приняты следующие условные обозначения:
A — ширина сварного соединения; B — ширина сварного шва;
C — ширина околошовной зоны.

- Конструктивные элементы стыкового сварного соединения.

- Величина околошовной зоны в сварных соединениях из сплавов на основе железа, титана и алюминия, выполненных электронно-лучевой сваркой, не превышает 10—15 мм.



ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ РАДИАЦИОННО-ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ

Успешное применение радиационных методов неразрушающего контроля качества сварных, паяных и литых конструкций обуславливается получением на рентгенографической пленке или на другом преобразователе изображения резкого и контрастного теневого изображения дефектов контролируемых участков, создаваемого источником ионизирующего излучения.

Минимальные размеры выявляемых дефектов увеличиваются приблизительно пропорционально той толщине материала, которую проходит излучение при просвечивании контролируемого участка. Поэтому оптимальными схемами просвечивания в подавляющем большинстве случаев предусматривается просвечивание контролируемых участков по сечению с наименьшей толщиной материала.

Изображение дефектов на рентгенографической пленке или на другом преобразователе размывается в связи с тем, что источник излучения обладает определенной протяженностью. Это ухудшает выявляемость дефектов тем в большей степени, чем дальше от дефекта создается его изображение.

С учетом сказанного при конструировании деталей и узлов, подлежащих радиационно-дефектоскопическому контролю, нужно руководствоваться следующими рекомендациями:

1) при просвечивании излучение должно проходить до детектора излучения только через толщину материала контролируемого участка; толщина дополнительного материала должна быть минимальной;

2) на изображение контролируемого участка на рентгенографической пленке или на другом преобразователе при просвечивании не должно накладываться изображений каких-либо других элементов конструкций;

3) следует обеспечить возможность помещения кассеты с рентгенографической пленкой или другого преобразователя в непосредственном контакте с контролируемым участком;

4) для обеспечения возможности контроля внутри изделий необходимо предусматривать люки и технологические отверстия для ввода источников излучения, например излучателей портативных рентгеновских аппаратов кабельного типа или радиоизотопных источников гамма-излучения;

5) должны быть созданы условия для размещения и фиксирования источников излучения в соответствии с рекомендуемыми схемами просвечивания на расстоянии 50—75 см от рентгенографической пленки или 10—30 см от преобразователей изображения применяемых интроскопов. Возможность использования других расстояний требует, как правило, частного рассмотрения.

Контроль сварных соединений. При проектировании сварных конструкций необходимо обеспечить свободные подходы для размещения источника излучения и кассеты с рентгенографической пленкой или передающего блока интроскопа в целях получения необходимых проекций сварного соединения,

включая околошовную зону (табл. XV.1.12). Ниже приведены рекомендации по расположению источника и детектора излучения при просвечивании сварных соединений основных типов (рис. XV.2.1).

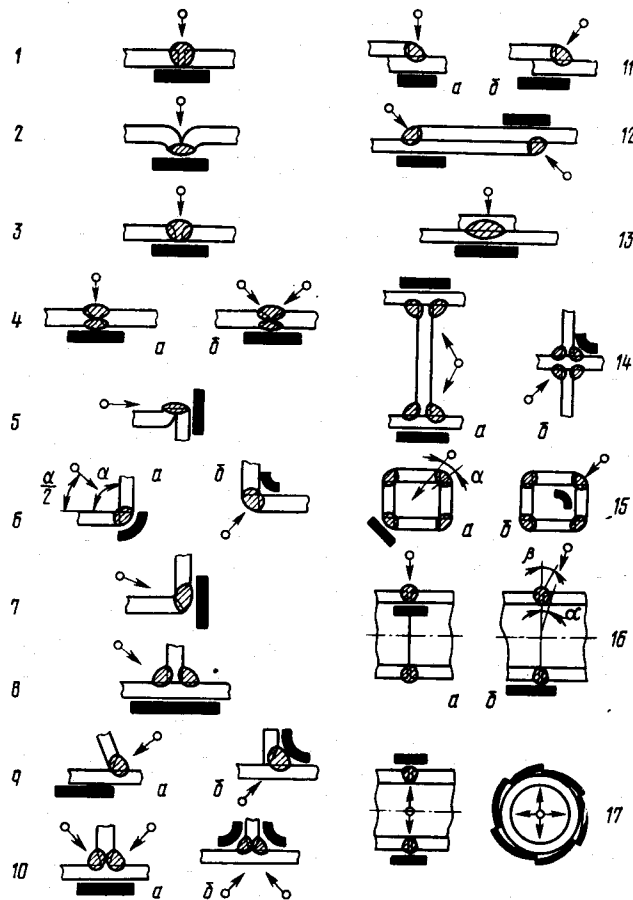


Рис. XV.2.1. Типовые схемы просвечивания сварных соединений.

Стрелки от источника излучения (на рисунке обозначен светлым кружком) показывают направление центрального луча пучка рентгеновского или гамма-излучения, который должен проходить через середину контролируемого участка шва.

Швы стыковых соединений без скоса кромок и с отбортовкой двух кромок просвечивают с направлением центрального луча перпендикулярно шву (см. рис. XV.2.1, 1 и 2).

Швы стыковых соединений с разделкой кромок просвечивают, как правило, с направлением центрального луча перпендикулярно шву (см. рис. XV.2.1, 3 и 4, а). В случаях, особо оговоренных в технической документации, допускается просвечивание тех же швов с направлением лучей по скосам кромок (см. рис. XV.2.1, 4, б).

Швы стыковых соединений можно просвечивать также с направлением распространения излучения, обратным показанному на рис. XV.2.1, 1—4, и с расположением детектора излучения с другой стороны шва.

Швы угловых соединений с отбортовкой, со скосом и без скоса кромок просвечивают с направлением центрального луча по плоскости свариваемых кромок (см. рис. XV.2.1, 5) и биссектрисе угла между сваренными элементами (см. рис. XV.2.1, 6, а).

и 7). Допустимо просвечивание в обратном направлении с расположением детектора излучения с другой стороны шва (см. рис. XV.2.1, 6, б).

Швы тавровых соединений без скоса кромок (см. рис. XV.2.1, 8), с односторонним и двусторонним скосом кромок (см. рис. XV.2.1, 9, а и 10, а) просвечивают с направлением центрального луча под углом 45° к полке тавра. В случаях, оговоренных техническими условиями, эти швы можно просвечивать также с направлением центрального луча по скосам кромок (см. рис. XV.2.1, 9, б и 10, б).

Швы соединений внахлестку просвечивают с направлением центрального луча под углом 45° к плоскости листа (см. рис. XV.2.1, 11, б и 12). Допускается также просвечивание с направлением лучей перпендикулярно к плоскости листа (см. рис. XV.2.1, 11, а).

Сварные соединения, полученные точечной и роликовой сваркой, просвечивают при направлении излучения, перпендикулярном плоскости соединения (см. рис. XV.2.1, 13).

Швы в двутавровых и крестообразных конструкциях просвечивают по схемам, показанным на рис. XV.2.1, 14, а и 14, б.

Швы коробчатых конструкций, не позволяющих размещать детектор излучений или источник внутри них, просвечивают с установкой детектора с наружной стороны шва и направлением центрального луча через две стенки под углом α к оси шва изделия (см. рис. XV.2.1, 15, а). При условии введения детектора излучения внутрь коробчатой конструкции просвечивание осуществляется через одну стенку с направлением центрального луча перпендикулярно шву (см. рис. XV.2.1, 15, б).

Кольцевые и продольные швы в цилиндрических и других изделиях просвечивают при установке источника излучения внутри или снаружи изделия с направлением центрального луча перпендикулярно шву (см. рис. XV.2.1, 16, а); в тех случаях, когда форма изделий не позволяет поместить внутри них детектор или источник излучения, просвечивание выполняют по схеме (рис. XV.2.1, 16, б). Детектор устанавливается с наружной стороны шва, центральный луч направлен через две стенки под углом к вертикальной оси шва. При просвечивании сварных стыков систем трубопроводов в целях получения проекций сварных швов, развернутых в эллипс, угол β выбирается в пределах $10-20^\circ$. Кольцевые швы в цилиндрических и сферических изделиях можно просвечивать по всей длине одновременно, располагая источник излучения на оси цилиндра или сферы против шва и размещая детектор излучения, например кассеты с рентгенографической пленкой, по всей длине шва на наружной поверхности (см. рис. XV.2.1, 17). В этом случае кассеты размещают с перекрытием на длину 10—15 мм либо используют рулонную рентгенографическую пленку.

Сварной шов должен быть размещен от границ резкого перепада толщин на расстоянии, равном половине ширины сварного соединения, включая околошовную зону (см. табл. XV.2.12), с припуском 10—15 мм на возможное смещение рентгенографической пленки в кассете и неточность ее установки.

Проведение радиационно-дефектоскопического контроля становится невозможным, если кольцевые

и другие замыкающие швы свариваются таким образом, что при осуществлении просвечивания по рекомендуемым схемам излучение должно проходить также через массивные корпусные детали.

Контроль паяных соединений. При использовании радиационных методов контроля к конструкциям паяных соединений предъявляются аналогичные требования по свободному доступу источника и детектора излучения в целях получения необходимых проекций паяного соединения.

Паяные сотовые панели просвечивают в направлении, перпендикулярном их поверхности. Зоны непропая могут быть выявлены по отсутствию галтелей припоя. Следует иметь в виду, что трудоемкость расшифровки результатов контроля сотовых панелей чрезвычайно велика. Поэтому радиационные методы могут использоваться для их выборочного контроля. Основным методом контроля паяных сотовых панелей следует считать импедансно-акустический метод.

При разработке монтажных схем трубопроводов, собираемых в условиях стапеля, когда паяются замыкающие соединения непосредственно на изделии, нужно тщательно следить за тем, чтобы была обеспечена возможность получения двух проекций паяного соединения в двух взаимно перпендикулярных направлениях без перекрытия изображений другими трубопроводами или элементами конструкции.

Контроль литых деталей. Литые детали в зависимости от толщины и плотности материала, их конфигурации и предъявляемых к ним требований контролируются радиографическим или радиоскопическими методами в соответствии с областями их применения (см. табл. XV.2.4—XV.2.7).

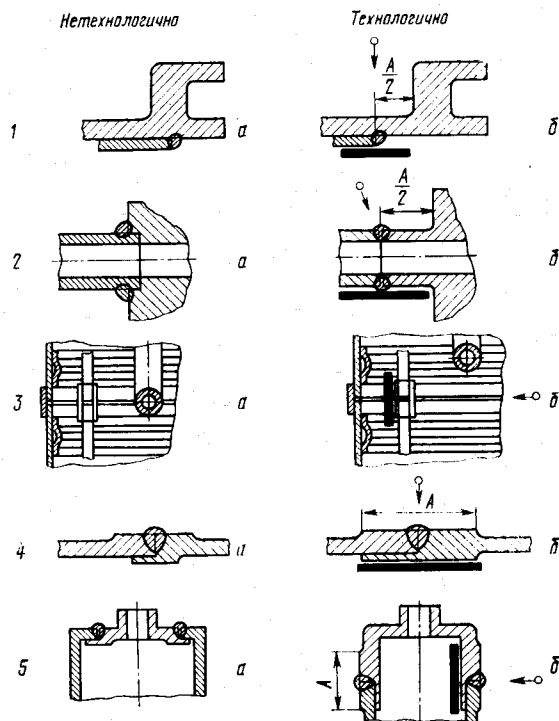


Рис. XV.2.2. Примеры технологичных и нетехнологичных конструкций, подвергаемых радиационно-дефектоскопическому контролю.

При выборе участков литых деталей, подлежащих радиационно-дефектоскопическому контролю, рекомендуется в первую очередь уделять внимание местам наиболее вероятного появления дефектов, местам соединения детали с литниковой системой, выпорам, местам с резкими перепадами по толщине и т. п.

При проектировании литых деталей, имеющих большое количество внутренних стенок и перегородок, которые подлежат радиографическому контролю, необходимо обеспечить возможность размещения кассет с рентгенографической пленкой непосредственно на контролируемом участке.

На рис. XV.2.2, слева показаны примеры конструкций, не обладающих дефектоскопической технологичностью с точки зрения радиационно-дефектоскопического контроля. Сварное соединение конструкции, представленной на рис. XV.2.2, 1, а, невозможно контролировать, минуя значительную толщину неконтролируемого материала, что снижает чувствительность к выявлению дефектов и производительность контроля.

Другие сварные соединения (рис. XV.2.2, 2, а и XV.2.2, 5, а) невозможно проконтролировать, так как отсутствует место для размещения кассеты с рентгенографической пленкой или преобразователя изображения интроскопа.

Невозможно получить две взаимно перпендикулярные проекции паяного соединения трубопровода (рис. XV.2.2, 3, а), перекрытого другим трубопроводом.

Сварное стыковое соединение (рис. XV.2.2, 4, а) по сечению имеет существенные перепады по толщине за счет конструкции замкового соединения, наличия радиусов сопряжений и усиления шва. Выявление дефектов в сварном шве и околошовной зоне при однократном просвечивании исключается. Подобная конструкция сварного соединения должна контролироваться трижды на различных режимах с получением трех соответствующих рентгенограмм.

На рис. XV.2.2, справа показаны варианты рассмотренных конструкций, обладающие достаточной технологичностью для проведения радиационно-дефектоскопического контроля.

Глава 3. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ

Акустический контроль основан на исследовании процесса распространения упругих колебаний в контролируемом материале. При отсутствии несплошностей упругие колебания распространяются в материале прямолинейно в виде расходящегося пучка. При нарушении сплошности происходит отражение, преломление, рассеяние упругих колебаний. Улавливая и анализируя колебания после взаимодействия их с несплошностями, делают заключение о наличии внутренних и поверхностных несплошностей в контролируемом материале.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Для анализа процесса распространения акустических колебаний в контролируемых изделиях и соединениях используют ультразвуковые методы, отличающиеся один от другого по признаку обнаружения дефекта: теневой, зеркально-теневой, эхо-метод, резонансный и др.

Ультразвуковые методы применяются для выявления трещин, раковин, расслоений, пористости, шлаковых включений, зон неоднородности структуры, зон межкристаллитной коррозии, дефектов сварки, пайки и склейки (непроваров, непроклеев и т. д.), а также для определения толщин изделий при одностороннем доступе.

Теневой метод — метод сквозного прозвучивания; основан на послышке в контролируемое изделие упругих колебаний и регистрации изменения их интенсивности после прохождения (однократного) через материал (рис. XV.3.1).

При теневом методе упругие колебания вводят в изделие с одной, а принимают с другой стороны — когда контролируют продольными и поперечными

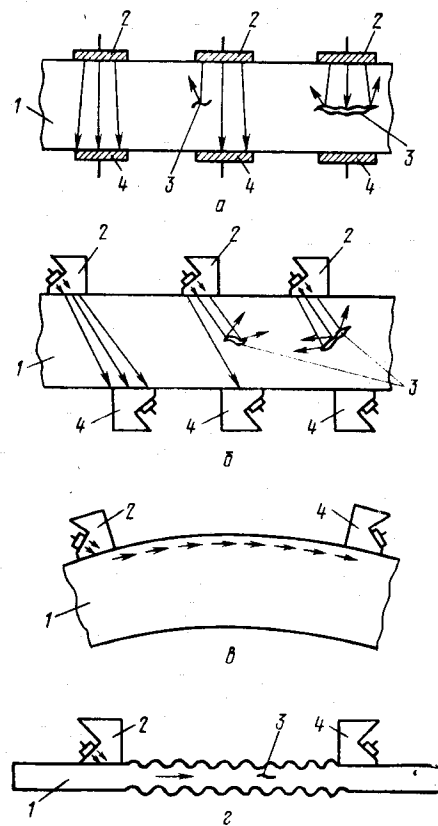


Рис. XV.3.1. Схема прозвучивания изделий теневым методом волнами:

а — продольными; б — поперечными; в — поверхностными; 2 — нормально;

1 — контролируемое изделие; 2 — излучающий датчик; 3 — дефект; 4 — приемный датчик.

волнами. При контроле нормальными и поверхностными волнами искатели располагают соосно на одной стороне изделия. Признаком наличия (обнаружения) дефекта служит резкое уменьшение интенсивности (амплитуды) прошедшей через изделие акустической волны от излучающего искателя к приемному.

Теневой метод применяется, главным образом, для контроля качества листового проката малой и средней толщины (ГОСТ 12503—75), многослойных дисков, резиновых многослойных изделий, пластмасс, композиционных материалов, клееных соединений и др.

Недостатком метода является необходимость работы двумя искателями и двусторонний доступ к изделию.

Зеркально-теневой метод является разновидностью теневого метода. Контроль осуществляется лучом, зеркально отраженным от донной поверхности, то есть поверхности, противоположной той, на которой установлены излучающий и приемный искатели (рис. XV.3.2).

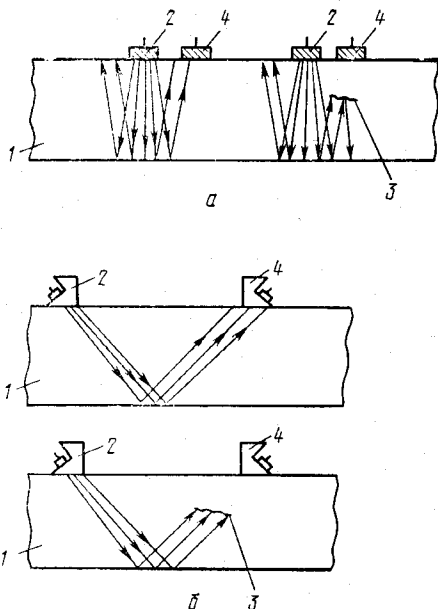


Рис. XV.3.2. Схема прозвучивания изделий зеркально-теневым методом. (Обозначения те же, что на рис. XV.3.1).

При зеркально-теневом методе дефект обнаруживается по уменьшению интенсивности УЗ-колебаний (амплитуды), отраженных от донной поверхности. Чем крупнее дефект, тем больше ослабление донного эхо-импульса.

Зеркально-теневой метод применяется в основном для контроля качества сварных соединений (ГОСТ 14782—76) и рельсов (ГОСТ 18576—80).

Эхо-импульсный метод основан на послышке в контролируемое изделие коротких импульсов и регистрации интенсивности и времени прихода отраженных от дефектов импульсов. При эхо-методе один и тот же искатель выполняет функции излучателя и приемника (рис. XV.3.3).

Эхо-импульсный метод позволяет не только обнаруживать дефекты, но и определять координаты их местоположения. Экран регистрирующего прибора измеряет время от момента послышки начального (зондирующего) импульса до момента появления эхо-импульса от дефекта. Время прохождения волн до дефекта пропорционально пройденному пути

(если скорость волны для данного материала — постоянная величина), поэтому на экране фиксируется величина, пропорциональная глубине залегания дефекта. Контроль эхо-импульсным методом осуществляется при одностороннем доступе к изделию. Эхо-импульсный метод наиболее широко применяется в настоящее время при дефектоскопии различных крупногабаритных изделий, поковок, штамповок, проката, прессованных профилей (ГОСТ 12503—75), термообработанного литья, сварных соединений, изготовленных из конструкционных сталей, алюминиевых, титановых сплавов (ГОСТ 14782—76).

Эхо-импульсным методом выявляются несплошности с шириной раскрытия более 0,005—0,01 мм. В зависимости от глубины залегания несплошности в материале, физических характеристик основного материала, а также ориентации дефекта размеры выявляемых дефектов лежат в пределах 0,5—5 мм². Минимальные размеры выявляемых включений и других неоднородностей зависят от соотношения акустических характеристик основного металла и включения.

Резонансный метод основан на возбуждении в изделиях постоянной толщины (листах, трубах и др.) незатухающих ультразвуковых колебаний и определении резонансных частот этих колебаний.

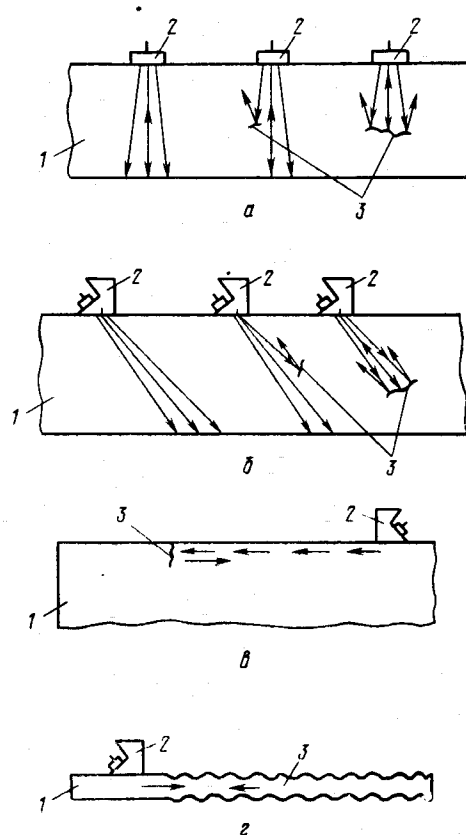


Рис. XV.3.3. Схема прозвучивания изделия эхо-импульсным методом. (Обозначения те же, что на рис. XV.3.1).

Частота, при которой возникают стоячие волны, то есть наступает резонанс, зависит от толщины детали, скорости распространения акустических волн. По моменту установления резонанса определяют толщину контролируемого изделия.

Ультразвуковой резонансный метод используют для обнаружения дефектов в виде коррозии и для измерения толщины листов, тонкостенных труб, резервуаров и т. п. Диапазон толщин, измеряемых резонансным методом, лежит в пределах от 0,1 до 300 мм, точность измерения составляет 0,1—3% от истинной толщины.

Велосиметрический метод основан на влиянии дефекта на скорость распространения изгибных волн и регистрации изменения этой скорости по фазе волны. Велосиметрический метод применяется при контроле как в одностороннем, так и в двустороннем вариантах контроля, а также при контроле слоистых изделий из неметаллических и комбинированных (неметалл — металл) материалов толщиной до 50 мм. При этом выявляются дефекты (расслоения и зоны нарушения соединений между слоями изделия) площадью от 1,5 до 15 см².

Импедансный метод основан на регистрации величины акустического импеданса на контролируемом участке изделия (импедансом называется отношение возмущающей силы к вызываемой ею колебательной скорости частиц среды в точке приложения силы). Изменение импеданса на дефектном участке по сравнению с бездефектным участком определяется по изменению амплитуды или фазы силы реакции. На качественном участке импеданс системы определяется всей конструкцией и сила реакции на датчик имеет значительную величину; дефектный участок (неприклеенная обшивка) колеблется независимо от всей конструкции, и амплитуда силы реакции резко уменьшается (рис. XV.3.4).

Импедансный метод позволяет обнаруживать нарушения жесткой связи между элементами слоистых клеевых и паяных конструкций: непрочные, непропаи, расслоения, слабую адгезию, неполную полимеризацию и т. п.

Метод акустической эмиссии (метод эмиссии волн напряжения) основан на регистрации акустических волн в твердых телах при пластической деформации и возникновении микротрещин. Фиксируя скорость движения волн эмиссии, можно не

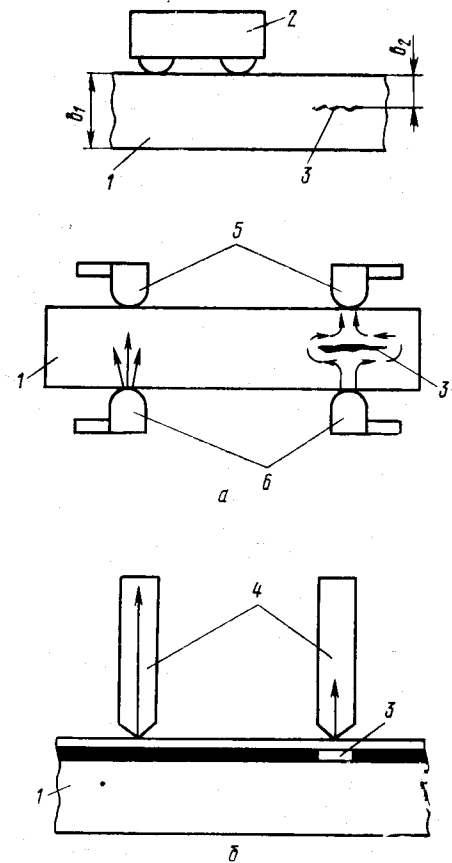


Рис. XV.3.4. Принципиальная схема велосиметрического (а) и импедансного (б) методов контроля:

1 — контролируемое изделие; 2 — искатель; 3 — дефект; 4 — продольно-колеблющийся стержень; 5 — приемный искатель; 6 — излучающий искатель.

только обнаруживать опасные дефекты, но и прогнозировать работоспособность ответственных узлов конструкций.

Таблица XV.3.1

Акустические методы и способы их реализации

Метод	Частотный диапазон		Виды волн				Способ возбуждения упругих волн				Способ ввода (приема) упругих волн				Режим излучения		Регистрируемые параметры				
	звуковой	ультразвуковой	продольные	поперечные	поверхностные	нормальные	пьезоэлектрический	электромагнитно-акустический	механический	контактный сухой	контактный со смазкой	бесконтактный	струйный	иммерсионный	непрерывный	импульсный	частота	амплитуда	время	фаза	акустический импеданс
Теневой	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	+	+	—	+	+	—	—	+	—	—	—
Эхо-импульсный	—	+	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	+	+	—	+	—	+	+	—	—
Резонансный	—	+	+	—	—	—	+	—	—	—	+	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—
Эмиссионный	—	+	+	+	+	—	—	—	+	—	+	+	—	—	+	—	—	+	+	—	—
Велосиметрический	—	+	+	—	—	+	+	—	—	+	—	—	—	—	+	—	—	+	—	+	—
Импедансный	+	—	—	—	—	+	+	—	—	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	+

Сущность метода состоит в том, что на поверхности испытуемого изделия устанавливаются искатели, чувствительные к поперечным или поверхностным волнам в диапазоне частот 1—3 МГц. При возникновении и развитии трещин появляются импульсы эмиссии волн напряжения, которые и регистрируются установленными искателями.

Характеристика акустических методов в общем виде представлена в табл. XV.3.1.

СРЕДСТВА АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Для проведения акустического контроля качества материалов в целях выявления несплошностей и

определения их координат служат универсальные дефектоскопы типа ДУК-66 и ДУК-66ПМ.

Дефектоскопы обладают высокой чувствительностью и малой мертвой зоной (минимальная глубина обнаружения дефектов), которая при работе отдельно-совмещенными искателями на частоте 5 МГц — не более 1 мм, на частоте 2,5 МГц — не более 2 мм. В табл. XV.3.2 приведена краткая техническая характеристика основных типов дефектоскопов. Для определения толщины различных изделий — листов, труб, баллонов и т. д. — используются ультразвуковые толщиномеры, характеристика которых представлена в табл. XV.3.3. Краткие сведения о приборах, предназначенных для контроля определенного вида деталей, даны в табл. XV.3.4.

Таблица XV.3.2

Техническая характеристика ультразвуковых универсальных дефектоскопов

Тип прибора	Рабочая частота, МГц	Максимальная глубина прозвучивания, мм	Мертвая зона для стали, мм	Питание	Потребляемая мощность, ВА	Масса, кг	Габаритные размеры, мм
УД-10УА	1,5—6,0	5000	2				487×477×195
ДУК-66	0,62; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0	2500	2	110, 127 и 220 В, 50 Гц	300	24,5	605×395×265
ДУК-66ПМ	1,25; 2,5 5,0; 10,0	1200—2400	2	24, 36, 127, 220 В, 50 Гц; от батареи 6,6—9 В	40 (от сети), 10 Вт (от батареи)	9,5 (с аккумулятором)	60×160×425

Примечание. Область применения ультразвуковых универсальных дефектоскопов — выявление внутренних и поверхностных дефектов и определение их координат в заготовках, полуфабрикатах, сварных швах, готовых изделиях из металла и некоторых пластмасс.

Таблица XV.3.3

Техническая характеристика основных ультразвуковых толщинометров

Тип прибора	Метод измерения	Диапазон измерения, мм	Погрешность измерений	Класс шероховатости поверхности	Частота следования сигналов, Гц	Масса, кг	Габаритные размеры, мм	Примечание
ТУК-3	Резонансный, контактный	0,35—50	±2%	80 Rz √ 40 Rz √	50	12	—	Измерение толщин стенок плоскопараллельных и цилиндрических изделий
ТУК-4В		0,32—45	±5%	80 Rz √ 40 Rz √	50	22	500×373×400	
„Металл-2М“	Резонансный иммерсионный (частота 960—15 000 кГц)	0,2—0,3	±1%	40 Rz √	200	25	340×475×565	Автоматический непрерывный контроль отклонения толщины цилиндрических и листовых изделий в пределах ±15% от номинальной
„Кварц-6“	Эхо-импульсный, контактный (частота 2,5; 5,0 МГц)	2—10 2—25 2—50	±0,15 мм ±0,3 мм ±0,5 мм	Грубо обработанная поверхность	7,5·10 ³ 3,0·10 ³ 1,5·10 ³	5	250×195×195	Измерение толщины стенок труб, обшивок сосудов и других металлических конструкций при одностороннем доступе к ним
„Кварц-14“	Эхо-импульсный, контактный (раздельно-совмещенный искатель)	1,7—99,9	±0,2 до 10 мм и ±(1%+ +0,1 мм) от 10 до 99,9 мм	—	0,85·10 ³	3	180×105×160	—

Таблица XV.3.4

Техническая характеристика некоторых специализированных дефектоскопов

Тип прибора	Частота, МГц	Максимальная глубина прозвучивания, мм	Питание	Потребляемая мощность, В·А	Масса, кг	Габаритные размеры, мм	Область применения
ДУК-8М	0,16—0,25; 0,5—2,0	2—50	220 В, 50 Гц	250	28	580×370×248	Контроль материалов с большим затуханием УЗК для выявления зон непрочности между покрытием (стеклотекстолит, пластмассы) и основным материалом
УЗДЛ-61-2М	2,5	400	28 В (от источника постоянного тока)	35	6 (с принадлежностями)	165×125×290	Контроль лопаток турбин, компрессоров и кожухов камер сгорания газотурбинных двигателей в условиях эксплуатации
УВФД-1	0,03—0,075	25	220 В, 50 Гц	100	11	234×318×370	Контроль слоистых изделий, изготовленных из неметаллических или комбинированных материалов
ИАД-3	0,001—0,008	—	220 В, 50 Гц	150	12,5	234×325×370	Контроль клееных и паяных соединений в многослойных металлических и неметаллических конструкциях (одновременно по двум каналам — амплитудному и фазовому)

Таблица XV.3.5

Техническая характеристика искателей

Тип искателя	Номиналь- ная частота, МГц	Диаметр контроль- ного отра- жателя, мм	Глубина залегания контрольного отра- жателя, мм		Габаритные размеры, мм	Масса, г	Угол призмы, град.
			ДУК-66	УД-10УА			
Контактный прямой совме- щенный	0,6	8	50—250	—	54×40×48	80	—
	1,25	3,2	15—180	—	54×40×148	80	
	2,5	1,6	10—180	10—180	46×30×42	40	
	5,0	1,2	8—70	8—70	38×22×36	20	
Контактный прямой, совме- щенный с пленочной защитой	1,25	3,2	30—180	—	54×40×48	120	—
	2,5	2,5	20—180	20—180	54×40×48	60	
	—	—	—	—	46×30×42		
Контактный раздельно-совме- щенный	0,6	4,5	5—40	—	64×15×54	120	—
	1,25	5,0	2—70	—	36×8×34	25	
	2,5	2	2—180	—	36×8×34	25	
	—	—	—	—	16×16×34	25	
	—	—	—	—	36×15×34	35	
	5,0	1,2	2—50	2—50	16×16×34	25	
	—	1,6	0,5—30	0,5—30	13×7,6×25	15	
	—	—	0,5—20	0,5—20	13×5,6×25	13	
Контактный иммерсионный	2,5	2,0	20—180	20—180	∅ 48×97	425	—
	5,0	1,6	20—180	20—180	∅ 48×97	425	
Образец-эталон							
Контактный наклонный сов- мещенный	1,25	0,16	0,5	50	50×50×20	125	40
	2,5	1,6	0,5	45	50×45×17	110	30
	—	—	—	40; 35	50×36×17	100	40; 50
	—	—	—	30	30×36×17	170	53
Контактный наклонный сов- мещенный малогабаритный	2,5	1,6	0,5—45	—	23×16×13	33	53; 55
	5,0	1,6	0,5—35	—	23×46×13	33	53; 55
	—	—	1—70	—	14,6×14,6×22	15	30
	—	—	1—60	—	—	—	40
	—	—	1—50	—	—	—	50
	—	—	—	—	—	—	—

Акустические дефектоскопы комплектуются искателями, которые служат для излучения и приема упругих колебаний.

В корпусе искателя размещаются пьезоэлемент, демпфер и выводы, соединяющие пьезоэлемент с дефектоскопом. Толщину пьезоэлемента задают такой, чтобы собственная частота пьезоэлемента соответствовала частоте возбуждаемых или принимаемых колебаний. В качестве пьезоэлементов используются кварц, цирконат-титанат свинца, титанат бария и др.

Электрические колебания с генератора дефектоскопа подаются через выводы на пьезоэлемент, который под воздействием этих колебаний излучает упругие колебания. Через контактную смазку упругие колебания (продольные) вводятся в контролируемый материал. После прохождения волн в исследуемом материале пьезоэлемент принимает упругие колебания, преобразует их в электрические и передает на дефектоскоп. Демпфер в искателе вводится для гашения свободных колебаний пьезоэлемента.

По конструктивному исполнению искатели разделяют на прямые (нормальные), призматические и раздельно-совмещенные. Схема включения искателей может быть совмещенной, раздельной и раздельно-совмещенной.

Прямые искатели предназначены для ввода продольной волны в направлении, перпендикулярном к поверхности контролируемого изделия. Прямые искатели применяются для выявления глубинных дефектов, ориентированных в плоскости, параллельной поверхности ввода ультразвуковых колебаний.

Призматические (наклонные) искатели служат для ввода волн под некоторым углом и предназначены для выявления дефектов, ориентированных в плоскости, не параллельной поверхности ввода УЗК. Призматические искатели с углом призмы $28-58^\circ$ излучают поперечную волну, с углом призмы 27° возбуждают продольную подповерхностную волну и с углом призмы 60° — поверхностную волну.

В раздельно-совмещенных искателях пьезопластины (излучающая и принимающая) включены по раздельной схеме, но объединены в одном корпусе. Призмы излучающего и принимающего пьезоэлементов наклонены под углом 7° . Раздельно-совмещенные искатели используются для выявления дефектов, расположенных на небольшой глубине (1—35 мм) и ориентированных параллельно поверхности ввода УЗК.

В табл. XV.3.5 приведена техническая характеристика искателей различных типов, выпускаемых промышленностью и применяемых с универсальными дефектоскопами.

ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Основными требованиями к конструкциям, которые определяют дефектоскопическую технологичность ультразвукового контроля, являются:

— применение для изготовления конструкций материалов с однородной внутренней структурой и небольшим коэффициентом затухания ультразвуковых колебаний, позволяющих осуществлять прозвучивание контролируемых материалов на необходимую глубину;

— доступность подхода к контролируемым участкам и наличие зон надежного акустического контакта, форма и протяженность которых обеспечивают размещение и перемещение искателя в пределах, необходимых для прозвучивания всего объема детали;

— ровная поверхность контролируемого изделия, по которой осуществляется акустический контакт, — без выступов, вмятин, волнистостей. Шероховатость поверхности должна быть не ниже $Rz \sqrt{20} - Rz \sqrt{2,5}$ при контактном способе и не ниже $Rz \sqrt{80} - Rz \sqrt{40}$ при иммерсионном способе контроля.

Технологичность деталей при использовании ультразвукового контроля

Наиболее технологичными для ультразвукового контроля являются следующие металлические полуфабрикаты, заготовки и изделия простой формы:

— листовые материалы;
— цилиндрические трубы, прутки, валы, оси постоянной толщины, цилиндрические заготовки, слитки, поковки, штамповки;
— детали прямоугольных форм типа куба и параллелепипеда.

Менее технологичными для ультразвукового контроля являются:

— детали из листовых материалов и труб эллиптической, прямоугольной, овальной или других сложных форм;
— тавровый, прямоугольный и уголкового профили;
— прямоугольные и цилиндрические детали переменной толщины.

В деталях сложной формы ультразвуковой контроль возможен по участкам прямоугольной или цилиндрической формы с радиусом кривизны не менее 50—100 мм или по торцевой поверхности протяженностью не менее 80—100 мм.

Нетехнологичными или недоступными для ультразвукового контроля являются:

— детали сложной формы и малого размера;
— сферические детали с радиусом кривизны менее 30—100 мм;
— участки деталей с резьбовыми и замковыми соединениями;
— галтельные участки с радиусом кривизны менее 30—50 мм;
— участки деталей вблизи выступов, фланцев, неплавных соединений, прямоугольных торцов деталей, проточек, сверлений и т. п.

Контроль металлических деталей и полуфабрикатов ультразвуковым эхо-методом осуществляется с учетом инструкции ВИАМа № 408—57.

Ультразвуковой контроль крупногабаритных поковок, штамповок, плит и прессованных профилей из алюминиевых сплавов и деталей, изготовленных из них, производится в соответствии с методикой № И-40-21—67 ВИЛСа и ВИАМа.

Технологичность сварных соединений при использовании ультразвукового контроля

Ультразвуковой контроль сварных соединений необходимо осуществлять в соответствии с ГОСТ 14782—76 «Контроль неразрушающий. Швы сварные. Методы ультразвуковые».

Надежный ультразвуковой контроль сварных соединений достигается в конструкциях сварного узла, обеспечивающих проведение контроля по оптимальным схемам и при оптимальных параметрах контроля (прозвучивание шва по всей его глубине прямым и однократно отраженным лучом, оптимальные чувствительность, частота и угол ввода луча). В зоне акустического контакта не должно быть ребер, возвышений, уступов, канавок, отверстий, фланцев и т. д., сопрягаемых по кривой поверхности или под углом.

Наиболее технологичны для ультразвукового контроля стыковые сварные соединения из одного материала и одной толщины при обработанных заподлицо с основным материалом валике усиления и проплаве шва.

При необработанном валике усиления шва необходимая околошовная зона акустического контакта значительно больше, чем при обработанном шве. Зона акустического контакта уменьшается вдвое при четырехстороннем доступе к шву по сравнению с двусторонним доступом. При наличии технологического усиления, размеры которого превышают двойную толщину 2δ металла, и при обработанных заподлицо валике усиления и проплаве сварные соединения также технологичны для ультразвукового контроля.

Менее технологичны сварные соединения, у которых зона акустического контакта по обе стороны от оси шва меньше двойной толщины 2δ металла.

Нетехнологичными являются сварные соединения, у которых в зоне акустического контакта имеется технологическое усиление основного материала, а также швы с замковыми соединениями, с неудаленными подкладками.

Ультразвуковой контроль неэффективен и неполон, если околошовная зона акустического контакта меньше толщины δ основного металла, а при неудаленном усилении шва — меньше двойной толщины 2δ .

Протяженность зоны акустического контакта должна быть больше двойной толщины 2δ хотя бы с одной стороны от оси сварного шва у соединений, для которых в средней части шва характерны зеркально-отражающие ультразвук вертикальные дефекты (трещины, непровары).

V-образная разделка стыковых кромок свариваемых деталей более технологична для ультразвукового контроля, чем X-образная форма шва и разделка кромок.

Технологичность клеевых и паяных соединений при ультразвуковом и импедансно-акустическом контроле

Качество пайки и склейки в конструкциях летательных аппаратов (сотовые панели и паяные соединения трубопроводов) контролируют ультразвуковым и импедансно-акустическим методами.

Ультразвуковым методом (установки УКТ-2М, УКТ-3, разработанные НИАТом) контролируют муфтовые и паяные соединения трубопроводов (рис. XV.3.5, справа) с толщиной стенки муфты 1—2 мм и трубопровода 0,5—1,4 мм, паяных твердыми припоями (см. ОСТ 1.41584—82).

Чувствительность метода (по непропаю) составляет 2—3 мм² и увеличивается с возрастанием суммарной толщины паяного соединения.

Для размещения средств контроля необходимо иметь рядом с муфтой паяного соединения (справа или слева) прямолинейный участок трубопровода длиной не менее 60 мм. Наличие на поверхности муфты выступов или участков переменной толщины, например длинных фасок на краях (см. рис. XV.3.5, слева), затрудняет или делает невозможным проведение ультразвукового контроля. Соединения с прямолинейной наружной поверхностью муфты являются технологичными (см. рис. XV.3.5, справа).

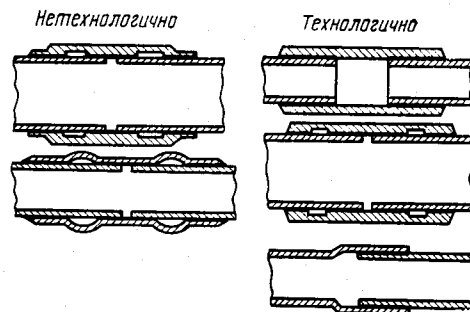


Рис. XV.3.5. Примеры технологичных и нетехнологичных паяных соединений трубопроводов, подвергаемых УЗ-контролю.

Акустическим импедансным методом рекомендуется контролировать отсутствие сцепления (непроклей, непропай и непровар) между обшивкой и торцами сотового заполнителя в клеевых, паяных и сварных сотовых панелях плоскопараллельных и плоскоклиновых, одинарной и двойной кривизны.

Контролю подлежат сотовые панели с толщиной обшивки до 2,0 мм из алюминиевых сплавов, до 1,8 мм из стали и титана и до 2,5 мм из композиционных материалов.

При акустическом импедансном контроле сотовых панелей выявляются непропаи, непрочности и непрочвары диаметром 5—25 мм. Чувствительность метода повышается при увеличении толщины материала сот и высоты сотоблока, а также при уменьшении размера сотовой ячейки, то есть при увеличении жесткости сотоблока. Изменение толщины обшивки, химическое фрезерование, наличие сварных швов с валиком усиления, а также отверстий и фланцев ухудшают технологичность контроля сотовых панелей.

Акустический импедансный контроль сотовых панелей можно проводить вручную или автоматически. Автоматический контроль более надежен. Ручной контроль сотовых панелей с крупной ячейкой сот (сторона ячейки более 4 мм) и тонкой обшивкой (менее 0,6 мм) нетехнологичен. Автоматизированный контроль качества пайки, сварки или склеивания сотовых панелей с автоматической записью результатов контроля на установках типа УКН-3 и УКН-4П производить в соответствии с производственными инструкциями ПИ-1.4.995—81 и ПИ-247—78 (НИАТ).

Глава 4. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

СУЩНОСТЬ И ХАРАКТЕРИСТИКА МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Магнитные методы контроля основаны на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами или неоднородностями структуры в намагниченных изделиях из ферромагнитных материалов. Эти методы отличаются друг от друга способами, с помощью которых регистрируются магнитные поля рассеяния или определяются магнитные свойства контролируемых изделий.

Магнитопорошковый метод контроля основан на выявлении магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, с помощью ферромагнитных частиц, играющих роль индикаторов. Магнитопорошковый метод позволяет при оптимальных условиях выявлять трещины шириной раскрытия 0,001 мм и более, глубиной 0,01 мм и более. Чувствительность этого метода зависит от состояния и формы поверхности контролируемого изделия, качества магнитного порошка, состава магнитной суспензии, величины намагничивающего поля и т. п. В зависимости от размеров выявляемых поверхностных дефектов по ГОСТ 21105—75 устанавливаются три условных уровня чувствительности А, Б и В при минимальной протяженности выявляемой части дефекта свыше 0,5 мм и ширине выявляемого дефекта 2,5; 10,0; 25,0 мкм соответственно.

Условный уровень чувствительности определяется при отношении глубины дефекта к его ширине, равному 10.

Условный уровень чувствительности А достигим при обработке поверхности контролируемого изделия с шероховатостью свыше $\sqrt{\frac{2,5}{20}}$, уровни Б и В — свыше $Rz\sqrt{\frac{10,0}{20}}$.

Контроль магнитопорошковым методом состоит из следующих основных операций: намагничивание изделий, нанесение на изделие магнитного порошка или суспензии, осмотр изделий, разбраковка изделий и их размагничивание.

При необходимости наличие и характер дефектов, выявленных магнитопорошковым методом, можно зафиксировать с помощью фотографирования или в форме дефектограмм-реплик.

Магнитографический метод контроля заключается в записи магнитных полей рассеяния над дефектами на предварительно размагниченную магнитную пленку путем намагничивания контролируемого участка детали вместе с прижатой к его поверхности магнитной пленкой и последующим считыванием полученной на пленке магнитограммы с помощью специальных воспроизводящих устройств — магнитографических дефектоскопов.

Современная магнитографическая аппаратура позволяет обнаруживать дефекты размерами 10—15% от толщины контролируемого материала на глубине менее 18 мм.

Технология магнитографического контроля предусматривает выполнение следующих операций: намагничивание изделия или его части с прижатой к ним магнитной лентой специальными устройствами (запись поля дефекта на магнитную ленту); воспроизведение или считывание записи с ленты с по-

мощью магнитографического дефектоскопа; разбраковка изделий или сварных соединений по результатам воспроизведения записи.

Существенным преимуществом этого метода является документальность контроля.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ

Наибольшее применение в отрасли имеет магнитопорошковый метод контроля. Этим методом можно контролировать детали летательных аппаратов из ферромагнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью не менее 40. Этот метод может использоваться для контроля изделий без их демонтажа при условии обеспечения доступа к контролируемым участкам.

Основные виды дефектов, выявляемых методом магнитопорошковой дефектоскопии, приведены в табл. XV.4.1.

Таблица XV.4.1

Основные виды дефектов, выявляемых методом магнитопорошковой дефектоскопии

Объект контроля	Выявляемые дефекты
Полуфабрикаты: отливки, поковки, прокат, штамповки	Флокены, волосовины, закаты, заковы, неметаллические и шлаковые включения, пустоты, трещины, расслоения, надрывы, плены и др.
Готовые детали и узлы с применением сварки, механообработки, термообработки и литья	Трещины, непровары, пористость, надрывы, флокены, расслоения, прижоги и др.

Магнитопорошковым методом при некотором ухудшении чувствительности контроля могут выявляться также поверхностные дефекты на глубине до 2—3 мм и дефекты деталей с неферромагнитным покрытием толщиной до 100 мкм.

Магнитографический метод контроля применяют в основном для контроля деталей относительно простой формы (цилиндров, листов, брусков и т. п.) и сплошности сварных соединений из ферромагнитных материалов толщиной до 18 мм. Для получения надежных результатов магнитографического контроля высота валика усиления шва не должна превышать 25% толщины свариваемого материала, а неровности на поверхности швов — 25—30% высоты валика усиления.

СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Для магнитопорошкового контроля применяются универсальные стационарные, а также передвижные и переносные специализированные дефектоскопы (табл. XV.4.2). Стационарные дефектоскопы целесообразно использовать для контроля разнотипных деталей массового выпуска. С помощью передвижных и переносных дефектоскопов осуществляется контроль крупногабаритных деталей и изделий по частям.

Технические характеристики дефектоскопов для магнитных методов неразрушающего контроля

Тип дефектоскопа	Наибольший намагничивающий ток, А	Наибольшие размеры контролируемых деталей, мм	Питание	Масса, кг	Габаритные размеры, мм	Назначение
<i>Магнитопорошковый метод</i>						
Универсальный магнитный дефектоскоп У-604-70М	~7500, =10 000	Длина 1725	~220/380 В, 50 Гц	—	2800×950× ×1775; Ø 110 и 210 (соленоиды)	Контроль различных по форме и размерам деталей в стационарных цеховых условиях
Магнитный дефектоскоп МДС-5	7500	Длина 900; диаметр 250	~380 В, 50 Гц	1600	2050×1170× ×2150	Контроль деталей в стационарных и цеховых условиях
Магнитный дефектоскоп МДС-1,5	2000	Длина 200; диаметр 40	~220/380 В, 50 Гц	700	1960×1750× ×1895	Контроль мелких стальных деталей
Передвижной магнитный дефектоскоп У-601-64	~3200; =3800	Длина 680 (при циркулярном намагничивании)	~220/380 В, 50 Гц	500 (силовой блок); 300 (рабочий стол)	1120×775× ×1130 (силовой блок) 1070×605× ×1920 (рабочий стол)	Контроль крупногабаритных деталей
Передвижной магнитный дефектоскоп МД-50П	~900; =300; Импульсный 5000	—	~220 В, 50 Гц 2 кВА	260	1000×780× ×620	Контроль крупногабаритных деталей
Переносный дефектоскоп ПМД-70	Импульсный 1000	—	Постоянный ток=24 В или переменный ~220 В, 50 Гц 250 Вт	45 (дефектоскоп); 18 (приспособление)	620×500×260	Контроль деталей и узлов с демонтажом и без демонтажа изделия в полевых условиях, в цехах, на стендах и т. д.
<i>Магнитографический метод</i>						
Магнитографический дефектоскоп МДУ-2У	—	Ширина зоны воспроизведения на ленте 28	Переменный ток ~127/220 В, 50 Гц 180 Вт	25	266×410×515	Контроль сварных соединений
Намагничивающее устройство УНУ	8—36	Диаметр 1200 (труба); ширина зоны воспроизведения на ленте 18	Постоянный ток=27 В, 1000 Вт	—	—	Намагничивание контролируемых сварных соединений

Стационарные дефектоскопы для магнитопорошкового контроля, как правило, снабжены гидравлическими системами для размешивания и подачи магнитной суспензии на контролируемую поверхность деталей, а также приспособлениями для размагничивания деталей после контроля без снятия их с дефектоскопа.

Намагничивающие устройства для магнитографического контроля могут перемещаться вдоль контролируемого сварного шва. Кривизна торцовых частей полюсных пластин должна соответствовать кривизне контролируемой конструкции. Режимы намагничивания регулируются в зависимости от толщины материала.

В качестве магнитоносителей при магнитографическом контроле используются магнитные ленты МК-1 и МК-2, предназначенные для работы в интервале температур соответственно $+50 \div -30^\circ\text{C}$ и $+50 \div -70^\circ\text{C}$.

ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ МАГНИТНОМУ КОНТРОЛЮ

Для эффективного использования магнитопорошкового метода контроля необходимо при проектировании изделий учитывать следующие особенности:

1. Отношение длины детали, подвергаемой магнитному контролю, к эквивалентному диаметру должно быть не менее $3 \div 5$.

2. Величина шероховатости контролируемой поверхности должна быть не более $Rz \sqrt{V}$.

3. Толщина неферромагнитных покрытий контролируемой поверхности не должна превышать 0,1 мм.

4. Сварные соединения, выполненные с применением электродов из аустенитной стали, контролю магнитопорошковым методом не подлежат.

Глава 5. ВИХРЕТОКОВЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

СУЩНОСТЬ И ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ

Вихретоковые методы контроля основаны на регистрации изменения электромагнитного поля вихревых токов, наведенных специальной катушкой в объекте контроля. Вихретоковые методы позволяют обнаруживать поверхностные и подповерхностные трещины и другие дефекты (на глубине до 2 мм) длиной 0,5—1 мм, глубиной 0,1—0,2 мм с шириной раскрытия у выхода на поверхность 0,5 мкм.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

С помощью вихретоковых методов неразрушающего контроля можно:

— выявлять отклонения от заданного химического состава, сортировать сплавы по маркам, контролировать качество термообработки, постоянство структуры металла, определять электропроводность и другие физико-механические свойства металлов и сплавов;

— измерять толщину гальванических, лакокрасочных и других защитных покрытий, толщину листовых материалов и стенок труб, толщину одного из

слоев биметалла (если электропроводность или магнитная проницаемость слоев различны) и т. п.;

— выявлять поверхностные и подповерхностные трещины, пустоты, неметаллические включения, межкристаллитную коррозию и другие дефекты.

Вихретоковые методы наиболее эффективны при контроле деталей относительно простой геометрической формы. В этих случаях возможно их использование в поточных линиях для автоматизированного контроля деталей.

СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

В вихретоковых дефектоскопах используются проходные и накладные преобразователи. Как правило, дефектоскопы с проходными преобразователями предназначены для деталей типа тел вращения, для остальных — дефектоскопы с накладными преобразователями.

Для контроля труднодоступных мест объектов сложной конфигурации обычно используют переносные малогабаритные дефектоскопы с малым диаметром преобразователя, работающие в статическом режиме (ППД, ВД-20НСТ и др.).

Основные технические характеристики вихретоковых приборов неразрушающего контроля приведены в таблице.

Основные технические характеристики токовихревых приборов неразрушающего контроля

Тип прибора	Назначение	Диапазон контролируемых параметров	Диаметр площадки контроля, мм	Погрешность прибора, %	Питание	Масса прибора, кг
ЭМИД-4	Сортировка стальных деталей по маркам, контроль качества термообработки	—	Диаметр проходных отверстий в датчике 5; 10; 20; 50; 100	—	220 В, 50 Гц	45
ЭМИД-8М	Сортировка стальных деталей по маркам, контроль качества термообработки, выявление трещин в стальных круглых и шестигранных прутках	—	Диаметр проходных отверстий в датчике 10; 20; 50; 67	—	220 В, 50 Гц	45
ИЭ-Т	Измерение электропроводности немагнитных материалов	$(0,5-60) \cdot 10^6$ См/м	Сменные датчики	5—7	—	—
ТПН-I	Контроль толщины лакокрасочных и оксидных покрытий на немагнитных металлах	5—300 мкм	0,8	±6	220 В, 50 Гц	—
ТПН-II	Контроль толщины лакокрасочных и оксидных покрытий на немагнитных металлах	10—200 мкм	6,0	±10	9 В (батарея)	1,8
ВТ-20Н	Контроль толщины неметаллических покрытий на металлической основе	7,5—20 мм 2,2—8 мм 0,45—2,4 мм	—	±2	220 В, 50 Гц	5,0
ТПК-2	Контроль толщины теплозащитных покрытий на металлической основе	1—30 мм	45	±6	220 В, 50 Гц	3,0
ТПК-4	Контроль толщины теплозащитных покрытий на металлической основе	1—60 мм	120	±10	220 В, 50 Гц	4,0
ЭМТ-2БМ	Контроль толщины медных и никелевых покрытий на стали	0—300 мкм 0—30 мкм	8	±10	220 В, 50 Гц	8,5

Тип прибора	Назначение	Диапазон контролируемых параметров	Диаметр площадки контроля, мм	Погрешность прибора, %	Питание	Масса прибора, кг
КТП-1А	Контроль толщины медных, никелевых, цинковых, кадмиевых, хромовых, оловянных и серебряных покрытий на стали, а также никелевых и серебряных на латуни	0—40 мкм	10	±15	220 В, 50 Гц	8,5
ИПП-1М	Выявление дефектов типа трещин и раковин в прутках и трубах диаметром 5—48 мм из углеродистых, аустенитных сталей и немагнитных сплавов при скорости контроля до 3 м/с	Максимальная глубина выявляемых дефектов 0,1 мм	5 типоразмеров датчиков проходного типа	—	220 В, 50 Гц	150
ВД-20НД	Выявление дефектов типа трещин и закатов в листах из магнитооднородных ферромагнитных и немагнитных материалов с электропроводностью $(2—30) \cdot 10^6$ См/м	Минимальная глубина выявляемых дефектов 0,5 мм, длина 10 мм	30	—	220 В, 50 Гц постоянный ток 27 В	10,0
ВДЦ-2	Выявление дефектов типа трещин в деталях сложной формы из медных, алюминиевых, магниевых, жаропрочных, титановых сплавов с электропроводностью $(0,1—60) \times 10^6$ См/м	Минимальная длина выявляемых трещин 1,5 мм, глубина 0,2 мм	2; 12; 24 (диаметр катушки накладных датчиков — всего 8 типоразмеров)	—	Постоянный ток 27 В	4,0

ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДАМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Проведение контроля физико-механических свойств полуфабрикатов и изделий, а также выявление дефектов в деталях, узлах и изделиях вихретоковыми методами дефектоскопии затрудняется или становится невозможным, если при проектировании изделий не учитывались следующие особенности применения вихретокового контроля:

1. Вихретоковые методы контроля целесообразно использовать при контроле деталей сравнительно простой формы (прутков, труб, проволоки, листов и других). Сложный профиль контролируемых деталей требует применения большого числа типоразмеров датчиков, что затрудняет выбор кон-

кретного прибора, усложняет технологию и существенно снижает производительность контроля.

2. Конструкции контролируемых деталей должны предусматривать возможность свободного доступа датчика с держателем к контролируемому участку с сохранением неизменного положения датчика относительно контролируемой поверхности.

3. При назначении вихретокового контроля следует иметь в виду, что погрешность контроля зависит от изменений химического состава, магнитных свойств, электропроводности и других характеристик материала контролируемых деталей.

4. Радиус галтельных переходов элементов конструкций должен быть не менее 2 мм.

5. Шероховатость контролируемой поверхности Rz_{20} должна быть не более $Rz \sqrt{}$.

6. Толщина неметаллических покрытий контролируемой поверхности не должна превышать 0,5 мм, а металлических немагнитных — 0,2 мм.

Глава 6. КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

СУЩНОСТЬ КАПИЛЛЯРНЫХ МЕТОДОВ

Капиллярные методы предназначены для обнаружения поверхностных дефектов типа несплошности материала, не видимых невооруженным глазом, и основаны на использовании капиллярных свойств жидкостей. Выявление дефектов обеспечивается образованием над дефектными местами ин-

дикаторных рисунков с высоким оптическим (ярким и цветовым) контрастом и с шириной линий, превышающей ширину раскрытия дефектов.

При контроле на деталь наносят специальную смачивающую проникающую жидкость (индикаторный пенетрант), которая под действием капиллярных сил заполняет полости поверхностных дефектов, а затем удаляют ее. Оставшуюся в поло-

стях дефектов жидкость обнаруживают после нанесения проявителя, который поглощает жидкость, образуя индикаторный рисунок, и создает фон, улучшающий видимость рисунка.

Основные методы капиллярной дефектоскопии отличаются характером индикаторного рисунка и его оптическими свойствами.

Метод цветной капиллярной дефектоскопии обуславливает применение проникающих жидкостей, которые после нанесения проявителя образуют красный индикаторный рисунок, хорошо видимый на белом фоне проявителя. Красный цвет обеспечивает высокую вероятность обнаружения индикаторных рисунков вследствие особенностей его восприятия глазом.

При люминесцентной капиллярной дефектоскопии применяют проникающие жидкости, способные люминесцировать под воздействием ультрафиолетового излучения. Индикаторный рисунок просматривается на темном фоне, а наибольший яркостный и цветовой контраст обеспечивается при белом, красном и оранжевом цветах люминесценции. Используются также проникающие жидкости, имеющие зеленовато-желтый или голубовато-зеленый цвета люминесценции в ультрафиолетовом излучении.

Методы люминесцентно-цветной дефектоскопии отличаются тем, что индикаторные рисунки не только люминесцируют в ультрафиолетовом излучении, но и имеют окраску оранжево-красного цвета при видимом освещении.

Абсолютная чувствительность методов капиллярной дефектоскопии характеризуется данными табл. XV.6.1.

Таблица XV.6.1

Наименьшие размеры дефектов типа трещин, обнаруживаемых методами капиллярной дефектоскопии мм

Метод	Ширина раскрытия у выхода на поверхность	Глубина	Протяженность
Цветной суспензионный	0,005—0,01	0,04—0,05	2—3
Цветной красочный	0,001—0,002	0,01—0,03	0,1—0,3
Люминесцентный лаковый	0,002—0,005	0,01—0,03	0,5
Люминесцентный порошковый	0,01—0,03	0,1—0,3	2—3
Люминесцентный суспензионный	0,005—0,01	0,03—0,04	1—2
Люминесцентный красочный	0,001—0,002	0,01—0,03	0,1
Люминесцентно-цветной красочный	0,001	0,01	0,1

Яркостный контраст дефектов в видимом отраженном свете при визуальном контроле составляет 0—5%, а цветовой контраст отсутствует.

Индикаторный рисунок контролируемой поверхности обладает значительно лучшими оптическими характеристиками, облегчающими выявление дефектов: ширина линий 0,05—0,3 мм, яркостный контраст 30—60% и более, а также высокий цветовой контраст.

В зависимости от размеров выявляемых дефектов устанавливают четыре условных уровня чувствительности, указанные в табл. XV.6.2.

Таблица XV.6.2

Условные уровни чувствительности контроля при капиллярной дефектоскопии мкм

Условный уровень чувствительности	Размеры дефекта		
	ширина	глубина	длина
I	Менее 1	До 10	До 0,1
II	До 10	До 100	До 1
III	До 100	До 1000	До 10
IV	От 100 и более	От 1000 и более	От 10 и более

Достижимую чувствительность к выявлению дефектов, а также качество дефектоскопических материалов определяют на натуральных и искусственных образцах с естественными и имитируемыми дефектами, размеры которых уточняют микроскопическим анализом с возможной разрезкой образца.

При необходимости выявления более мелких дефектов следует применять методы газосорбционной радиоизотопной дефектоскопии [16].

Технология люминесцентного, цветного и люминесцентно-цветного капиллярного дефектоскопического контроля поверхностных дефектов включает операции: подготовку дефектоскопических составов и проверку их качеств; подготовку деталей к контролю, их очистку и обезжиривание; сушку деталей и удаление растворов из полостей дефектов; нанесение на контролируемую поверхность проникающей жидкости в течение времени, достаточного для заполнения полостей дефектов; удаление проникающей жидкости с бездефектной поверхности деталей; нанесение проявителя и выдержку, необходимую для того, чтобы проявитель вытянул проникающую жидкость на поверхность из полостей дефектов; обнаружение дефектов при наблюдении индикаторных рисунков в темноте при ультрафиолетовом освещении или в видимом свете; разметку дефектов и разбраковку контролируемых деталей; очистку деталей.

Отдельные из перечисленных операций могут быть исключены из технологии или интенсифицированы с помощью теплового, вакуумного, компрессионного, механического и других воздействий на контролируемые детали и дефектоскопические материалы.

В связи с большой трудоемкостью требуемая производительность капиллярного контроля может обеспечиваться механизацией многих операций, включая операции по очистке, обезжириванию, сушке контролируемых деталей и др. Однако следует иметь в виду, что продолжительность операции смачивания контролируемой поверхности проникающей жидкостью и проявления индикаторного рисунка определяется физическими процессами движения дефектоскопических жидкостей в капиллярных полостях дефектов и зависит от типа применяемых дефектоскопических материалов и наличия интенсификации данных операций (табл. XV.6.3).

Поэтому выполнение указанных операций должно сопровождаться соответствующей выдержкой, обеспечивающей наиболее полное проникновение жидкости в полости дефектов и ее вытяжку.

Таблица XV.6.3

**Продолжительность основных операций
капиллярной дефектоскопии**

мин

Метод	Время пропитки деталей проникающей жидкостью	Время проявления индикаторного рисунка
Цветной	15—18	3—30
Люминесцентный	5—10	5—10
Люминесцентно-цветной	2—10	10

Капиллярные методы допускают возможность изготовления дефектограмм контролируемых деталей путем снятия пленочного слоя краски и размещения его между стеклянными пластинами. Однако подобные операции достаточно кропотливы и выполнимы только для деталей сравнительно несложной формы, имеющих малую шероховатость поверхности. Рисунок трещин на таких дефектограммах сохраняется до одного года. С деталей, имеющих шероховатую поверхность, пленка краски снимается после наклейки на нее прозрачной липкой ленты. Сохраняемость таких дефектограмм не превышает шести месяцев.

Стационарные лаборатории капиллярной дефектоскопии, кроме специализированных установок, приборов и аппаратуры, должны быть снабжены приточно-вытяжной вентиляцией, естественным и искусственным освещением, отоплением, обеспечены электроэнергией, сжатым воздухом, горячей и холодной водой, а также противопожарными средствами.

В связи с токсичностью некоторых дефектоскопических материалов и растворителей для обеспечения безопасной работы контролеров должны быть выполнены мероприятия по приведению производственных помещений и рабочих мест в соответствие с требованиями действующих санитарных норм и правил.

Более подробно методика, техника и порядок проведения работ по капиллярной дефектоскопии изложены в технологических рекомендациях ВИАМ 40-824.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Методы капиллярной дефектоскопии могут использоваться при операционном и приемочном контроле полуфабрикатов, деталей и изделий как в сфере производства, так и в процессе их эксплуатации. Применение капиллярных методов контроля возможно в лабораторных, цеховых и полевых условиях, при положительной и отрицательной температуре.

Цветной красочный метод может применяться для контроля качества полуфабрикатов и заготовок (элементов крепежа, поковок, штамповок, точного литья и др.), сварных соединений силовых элементов конструкций, трубопроводов, корпусных и других деталей из нержавеющей стали, латуни, алюминиевых, магниевых и титановых сплавов. Метод применим при изготовлении, ремонте, эксплуатации изделий в процессе прочностных и других испытаний деталей и узлов в случаях небольшого и среднего объема работ по контролю.

Цветные порошковый и суспензионный методы, имеющие пониженные разрешающую способность и чувствительность к дефектам, а также менее стойкий во времени индикаторный рисунок, используются для контроля качества заготовок и полуфабрикатов, трубопроводов, силовых элементов конструкций и других деталей из нержавеющей стали, алюминиевых и других немагнитных сплавов.

Люминесцентный красочный метод может применяться в цеховых условиях для контроля качества полуфабрикатов и заготовок, литых деталей, сварных соединений, трубопроводов и других деталей ответственного назначения, имеющих поверхности с малой шероховатостью. Метод применим в процессе изготовления и ремонта изделий при среднем и большом объеме работ по контролю.

Люминесцентные порошковый и суспензионный методы имеют по сравнению с красочным методом пониженную разрешающую способность и чувствительность. Эти методы применяют для контроля относительно малонагруженных, но ответственных деталей и конструкций; литых корпусных деталей, коробок приводов, качалок, кронштейнов, деталей после механической обработки, подшипников и других деталей из нержавеющей стали, алюминиевых, магниевых, титановых и других немагнитных сплавов.

Люминесцентно-цветной метод при высоких дефектоскопических характеристиках и сохранении четкости рисунка в течение длительного времени не вполне технологичен: проникающая жидкость трудно удаляется с контролируемой поверхности. Кроме того, этим методом невозможно проверять детали с грубо обработанной поверхностью (с шерохова-

20
тостью более $Rz \sqrt{V}$) и с эрозионными поражениями, появившимися при эксплуатации. В связи с применением воды и других материалов процесс контроля может быть коррозионно-опасным для алюминиевых, магниевых и других сплавов. Метод находит применение в цеховых условиях для контроля качества поверхности деталей после механической обработки.

Контроль капиллярными методами подлежат детали, узлы и изделия из немагнитных сплавов: алюминиевых, титановых, магниевых, никелевых и других, а также из ферромагнитных сплавов, если по каким-либо причинам применение магнитопорошкового метода невозможно или неэффективно.

С помощью методов капиллярной дефектоскопии могут быть выявлены открытые поверхностные дефекты производственно-технологического и эксплуатационного характера: трещины (термические, шлифовочные, усталостные), пористость, закаты, волосовины, заковы, различные виды коррозии и т. п. на деталях любой формы.

СРЕДСТВА КАПИЛЛЯРНО-ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Для проведения капиллярно-дефектоскопического контроля в зависимости от выбранного метода используются дефектоскопические материалы различного состава. Сведения о некоторых применяемых комплексах материалов приведены в табл. XV.6.4.

При контроле детали методами капиллярной дефектоскопии применяют оборудование как общего назначения (ванны, столы, распылительные камеры, сушильные шкафы и т. д.), так и специализированное, предназначенное для обработки деталей дефектоскопическими материалами и расшифровки результатов контроля. Специализированное оборудование имеет переносный и стационарный виды исполнения (табл. XV.6.5 и XV.6.6).

Таблица XV.6.4

Основные комплексы материалов для капиллярной дефектоскопии

Проникающая жидкость	Очищающая жидкость	Проявитель
<i>Цветной красочный метод</i>		
Жидкость К ТУ 6-10-750—74	Масляно-керосиновая смесь состава: масло трансформаторное или МК-8 — 70% (по объему); керосин, топливо Т1, ТС-1 — 30%	Проявляющая краска М (ТУ 6-10-749—74)
Жидкость Д: бензол — 950 мл; масло МК-8 или трансформаторное — 50 мл; жирорастворимый темно-красный краситель — 30 г	То же	Краска В (для нанесения кистью): коллоидный медицинский — 700 мл; бензол — 200 мл; ацетон — 100 мл, цинковые белила — 50 г
Жидкость Е: керосин — 800 мл; бензол — 200 мл; темно-красный краситель — 10 г	»	Краска Г (для нанесения распылителем): растворитель-645 — 600 мл; бензол — 400 мл; коллоксилин — 22 г; цинковые белила — 50 г
Жидкость А: керосин — 700 мл; бензин Б-70 — 300 мл; жирорастворимый темно-красный краситель — 30 г	»	Краска: нитроэмаль белая ДМ — 700 мл; растворитель-645 — 200 мл; белила цинковые — 100 г
Жидкость КР: растворитель Р-4 — 900 мл; масло трансформаторное или МК-8 — 30 мл; жирорастворимый темно-красный краситель — 9—9,5 г; нигрозин жирорастворимый — 0,5—1 г	»	Краска БР: растворитель Р-4 — 50 мл; коллоид на растворителе-645 — 400 мл; паста СВП на цинковых белилах белая — 70 г; растворитель-645 — 100 мл
<i>Цветной суспензионный метод</i>		
Жидкость состава: керосин — 80% (по объему); масло трансформаторное — 15%; скипидар — 5%; темно-красный краситель 5С — 10 г	5%-ный водный раствор кальцинированной соды	Суспензия: каолин — 600—700 г; вода — 1 л
Жидкость состава: ксилол — 20% (по объему); керосин — 60%; скипидар — 20%; темно-красный краситель 5С — до насыщения	Вода	Суспензия: мел — 300 г; спирт этиловый — 1 л
<i>Цветной порошковый метод</i>		
Жидкость состава: тетралин — 480 мл; ксилол — 480 мл; пропиловый спирт — 40 мл; темно-красный краситель 5С — 10—20 г	Органический растворитель (ацетон или др.)	Тальк, силикагель, аэросил
<i>Люминесцентно-цветной красочный метод</i>		
Жидкость АЭРО-12А: спирт этиловый — 900 мл; эмульгатор ОП-7 (ОП-10) — 100 мл; краситель родамин С — 30 г или спирт этиловый — 865 мл; триэтанолламин — 135 мл; краситель родамин С — 35 г	Вода и очищающая жидкость ОЖ-1 состава: спирт этиловый — 800 мл; эмульгатор ОП-7 (ОП-10) — 200 мл	Краска ПР-1 состава: белая нитроэмаль «экстра» — 300 мл; коллоидный медицинский — 300 мл; ацетон — 400 мл
<i>Люминесцентный красочный метод</i>		
Жидкость Люм-Б: концентрат нориола А — 15% (по объему); керосин — 85%	Вода и жидкость состава: спирт этиловый — 80%; эмульгатор ОП-7 (ОП-10) — 20%	Проявитель Люм-Б: стеариновая кислота — 40 г; петролейный эфир — 1 л
Жидкость ЛЖ-6А (ТУ 6-09-1042—71)	Вода и очищающая жидкость ОЖ-1 (ТУ 6-09-1043—71)	Проявляющая краска ПР-1 (ТУ 6-09-1091—71)
Жидкость ЛЖ-12	Вода и жидкость состава: эмульгатор ОП-7 (ОП-10) — 20%; вода — 80%	Проявляющая краска ПР-5

Продолжение табл. XV.6.4

Проникающая жидкость	Очищающая жидкость	Проявитель
<i>Люминесцентный суспензионный метод</i>		
Жидкость состава: керосин — 73%; эмульсол нефтяной — 27%	Вода	Суспензия: каолин — 300 г; вода — 1 л или силикагель — 150 г; вода — 1 л
<i>Люминесцентный порошковый метод</i>		
Жидкость состава: керосин — 70%; нориол — 30%; эмульгатор ОП-7 (ОП-10) — 3 г/л или моноэтаноламин — 1,3 г/л	Вода	Тальк

Таблица XV.6.5

Основные характеристики переносных дефектоскопов для капиллярной дефектоскопии

Тип переносного дефектоскопа	Интенсивность ультрафиолетового излучения, Лк, до	Мощность источников излучения, Вт	Вместимость сосудов с дефектоскопическими материалами, см ³	Питание дефектоскопа	Масса, кг	Габаритные размеры, мм	Комплектность
У-ДМК-5	—	—	500	220 В, 50 Гц (для воздушного краскораспылителя от источника сжатого воздуха давлением $2 \cdot 10^5$ Па)	10	505×200×255	Флаконы с дефектоскопическими материалами, воздушный и электрический краскораспылители, переносный осветитель, телескопическая и бинокулярная лупы, защитные средства, кисти
Люминесцентный КД-31Л	1000	125	—	~ 36/220 В	10 1,2 (для облучателя)	340×130×230 260×114×100 (для облучателя)	Переносный ультрафиолетовый облучатель и пускорегулирующий аппарат с кабелем
Люминесцентный КД-32Л	300	28	—	~ 36 В	3,5 0,85 (для облучателя)	250×150×140 270×150×110 (для облучателя)	Переносный ультрафиолетовый облучатель и пускорегулирующий аппарат с кабелем
Аэрозольный комплект КД-40ЛЦ	1000	125	Наборов: большого — 500, среднего — 350, малого — 200	Переменный ток ~ 36/220 В (для наборов). Постоянный ток = 24 В. Переменный ток ~ 127/220 В и сжатый воздух давлением $6 \cdot 10^5$ Па (для зарядного стенда)	Наборов: большого — 10, среднего — 7, малого — 5, зарядного стенда — 200	Наборов: большого — 228×354×480, среднего — 157×275×400, малого — 157×215×400, зарядного стенда (в упаковке) — 1540×980×610	Разборные аэрозольные баллоны (с подогревом), ультрафиолетовый облучатель типа КД-31Л, зарядный стенд для многократной зарядки баллонов дефектоскопическими материалами

Переносные дефектоскопы применяют для локального капиллярного контроля крупных неразборных нетранспортабельных изделий в полевых и стапельных условиях. Дефектоскопы снабжены сосудами с дефектоскопическими материалами для цветного или люминесцентного методов, средствами нанесения их на контролируемые поверхности (краскораспылители, кисти и т. д.), ультрафиолетовыми осветителями и необходимыми средствами за-

щиты контролера от воздействия токсичных материалов (резиновые перчатки, напальчники, предохраняющие пасты, лаки и т. п.).

Стационарные установки для люминесцентной капиллярной дефектоскопии имеют механизированные и автоматизированные системы, обеспечивающие высокопроизводительный контроль деталей массового выпуска.

В люминесцентной дефектоскопии для освещения контролируемых поверхностей ближним ультрафиолетовым излучением применяют ртутно-кварцевые

Основные характеристики стационарного оборудования для капиллярного контроля

Тип люминесцентной установки	Интенсивность ультрафиолетового излучения, Лк	Тип источника ультрафиолетового излучения	Характеристики контролируемых деталей	Питание установки	Масса, кг	Габаритные размеры установки, мм	Назначение
Дефектоскоп ЛДА-3	—	ДРШ-250	Габаритные размеры 500×500×300 мм; масса — до 100 кг	От сети трехфазного переменного тока 220/380 В, 23 кВт	—	Занимаемая площадь 6000×1500	Механизированный контроль массовых деталей в цеховых и лабораторных условиях
КД-21Л	2500—5000	ДРШ-1000	—	~ 220/380 В	90	650×1400×800 (стол); 1400×380×220 (пульт)	Осмотр деталей, подвергаемых контролю в цеховых и лабораторных условиях
КД-20Л	1000—5000	ДРШ-1000	Габаритные размеры 400×300×200 мм	От сети трехфазного переменного тока 380 В, 5 кВА	600	2800×2500×1500	Осмотр массовых деталей при их контроле в производственных условиях

лампы высокого давления ПРК-2, ПРК-4, ПРК-7 и сверхвысокого давления ДРШ-1000-3, ДРШ-500-3, ДРШ-250-3 и др. Для фильтрации (отсечки) неиспользуемой видимой части излучения этих источников применяют светофильтры УФС-3, УФС-4, УФС-6. Защита глаз контролера от воздействия отраженного ультрафиолетового излучения осуществляется с помощью очков со стеклами ЖС-4 по ГОСТ 9411—66, которые не поглощают люминесцентное излучение следов проникающей жидкости.

Поиск и анализ выявленных дефектов по их индикаторным рисункам осуществляется визуально с помощью оптических средств (лупы, микроскопы) при осмотре деталей. При общем осмотре применяют лупы с большим полем зрения и малым увеличением ($\times 1,5$ — 2). Анализ обнаруженного индикаторного рисунка проводят с применением оптических средств большого увеличения.

ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ КАПИЛЛЯРНОМУ КОНТРОЛЮ

Применение капиллярных методов дефектоскопии возможно для широкой номенклатуры деталей, узлов и механизмов изделий при выполнении ряда требований к конструкциям объектов контроля. Основные из них следующие:

1. Метод капиллярного контроля выбирают, исходя из уровня требуемой чувствительности, коррозионной стойкости контролируемых материалов,

качества обработки поверхностей, условий доступа и освещения контролируемых участков деталей и неразъемных соединений.

2. Конструкции особо ответственных узлов и деталей, содержащие сварные соединения, должны предусматривать возможность проведения капиллярного контроля по всей поверхности соединения, включая сварной шов и околошовную зону как со стороны вершины, так и со стороны корня шва (двусторонний контроль).

3. Для обеспечения наиболее высокой чувствительности капиллярные методы дефектоскопии следует применять для поверхностей с шероховатостью не хуже $Rz \sqrt{V}$, в том числе для сварных соединений со снятым усилением шва.

4. Если на деталь наносят какое-либо покрытие, то при необходимости проведения капиллярного контроля его следует проводить как до, так и после нанесения покрытий.

5. Для повышения производительности капиллярных методов контроля подвергаемые контролю детали должны допускать возможность интенсификации основных технологических операций контроля воздействием на них нагревом, вакуумом, давлением, ультразвуковыми колебаниями и т. п.

6. Конструкции контрольных образцов, характер и размеры имитируемых ими дефектов, а также способ их изготовления должны соответствовать требованиям по выявлению недопустимых дефектов на конкретные детали, узлы и изделия, подлежащие контролю.

Глава 7. ОПТИЧЕСКИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

СУЩНОСТЬ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПТИЧЕСКОГО ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Визуальный контроль с применением оптических приборов, так же как и визуальный осмотр, — наиболее доступные и простые методы обнаружения поверхностных дефектов деталей и контроля их геометрических параметров.

Контроль проводится путем наблюдения деталей и изделий в видимом свете. Средняя острота зрения человеческого глаза равна 2—4' при освещенности объекта 100—1000 Лк, что позволяет на расстоянии наилучшего зрения (250 мм) различать объекты размером не менее 0,15 мм. Предельная величина контрастной чувствительности глаза составляет 1—2% при наблюдении в оптимальных условиях объектов с угловыми размерами не менее 0,5° и указанной выше освещенности.

Применение оптических приборов позволяет увеличить угловой размер наблюдаемых объектов пропорционально увеличению приборов. Визуальный оптический контроль дает возможность наблюдать трещины и другие дефекты с шириной раскрытия более 0,005 мм и протяженностью свыше 0,1 мм.

Метод характеризуется недостаточно высокой вероятностью обнаружения трещин и других дефектов с раскрытием менее 0,1 мм.

Технология визуального оптического контроля предусматривает следующие основные операции: очистку контролируемой поверхности от загрязнений, осмотр деталей с помощью оптических приборов с большой зоной контроля и малым увеличением, анализ выявленных дефектов с помощью оптических приборов с большим увеличением, разработку деталей по результатам контроля.

Документальность визуального оптического контроля достигается фотосъемкой специально оборудованными оптическими приборами.

Величина освещенности контролируемой поверхности и характер искусственного освещения (общее, местное, комбинированное) выбираются в зависимости от цвета и яркости контролируемых деталей, размеров выявляемых дефектов и их контраста с фоном в пределах 100—5000 Лк.

Общие требования к оптическому неразрушающему контролю регламентированы ГОСТ 23479—79 [9].

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Визуальный оптический контроль применяют в следующих случаях:

— для обнаружения поверхностных дефектов деталей и узлов, доступных для непосредственного осмотра;

— для выявления дефектов, остаточной деформации, мест разрушения скрытых или удаленных элементов конструкций, а также наличия посторонних предметов внутри закрытых конструкций;

— для анализа характера и определения типа поверхностных дефектов, обнаруженных при контроле деталей другими методами дефектоскопии

(акустическими, электромагнитными, капиллярными и др.).

С помощью визуального оптического контроля выявляются поверхностные трещины, забоины, открытые раковины, поры, течи, а также коррозионные и эрозионные повреждения, язвы, загрязнения и другие дефекты.

Простота контроля и несложное оборудование позволяют проводить его в цехах, на участках сборки и монтажа изделий и в полевых условиях.

ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Для визуального оптического контроля близко расположенных деталей (находящихся на расстоянии не более 250 мм от глаз контролера) используют лупы с фокусным расстоянием 125—12,5 мм и увеличением соответственно от $\times 2$ до 20 и микроскопы с увеличением от $\times 8$ до 50.

Микроскопы дают изображение более высокого качества, а в случае использования бинокулярных микроскопов — стереоскопическое изображение контролируемой поверхности, что облегчает поиск и анализ дефектов. Кроме того, микроскопы обладают несколько большим рабочим расстоянием, что позволяет использовать их для осмотра различных углублений и пазов на деталях. Однако из-за существенного уменьшения поля зрения и глубины резкости при больших увеличениях микроскопы с увеличением более $\times 20$ применяются, как правило, для анализа выявленных дефектов, а увеличением более $\times 50$ — только в стационарных условиях лабораторий.

Технические характеристики луп и микроскопов приведены в табл. XV.7.1 и XV.7.2.

Для контроля поверхностей, расположенных в пределах прямой видимости, но на расстоянии от глаз контролера, превышающем расстояние наилучшего зрения (250 мм), применяют приборы прямого зрения: телескопические лупы, зрительные трубы, бинокли и др.

Осмотр внутренних поверхностей полых деталей и закрытых конструкций осуществляется с помощью эндоскопов, перископических дефектоскопов и других приборов, которые снабжены устройствами для освещения контролируемого участка. Технические данные некоторых эндоскопов приведены в табл. XV.7.3.

Для обеспечения равномерной освещенности крупных деталей и изделий сложной формы применяют переносные светильники: ручные сетевые типа РПО-220, РВО-220, РП-6-3-220 и другие (ГОСТ 7110—75) — при временном использовании, а типа ПЛ-36-10, ПЛ-64, ПВО-36, РВО-36 и т. д., питаемые от электрических источников низкого напряжения, — при осмотре деталей в собранных узлах и изделиях. Во взрывоопасных помещениях используют переносные ручные или головные светильники типа СПВ-9 (ГОСТ 5.884—71), работающие от источников электрического тока напряжением 12 В.

Таблица XV.7.1

Техническая характеристика луп, применяемых для оптического контроля

Тип лупы	Увеличение, крат	Фокусное расстояние	Световой диаметр	Линейное поле зрения	Рабочее расстояние	Ориентировочная разрешающая способ- ность, мкм
				мм		
Обзорная ЛПК-470	2	199,4	50×95	—	140—150	50
Обзорная ЛПК-471	2	199,4	78	—	140—150	50
ЛП1-2,5	2,5	100	36	95	93	40
ЛП1-7	7	38	20	25	33	15
ЛАЗ-6	6	42	22	30	35	8
ЛАЗ-10	10	25	13	15	21	7
ЛАЗ-20	20	12,5	6	6	10	—
Измерительная ЛИЗ-10	10	25	13	16	21,5	20
Измерительная ЛИ4-10	10	25	26	17	17,5	20
Биноклярная БЛ-1, БЛ-2	1,5	165	—	120	150—180	50
Телескопическая ЛППШ-474	4—40	—	20—12	375—4,4	2250—25	—
Телескопическая ТЛА	0,37—40	—	29—20	670—6	4000—40	—

Примечания:

1. Лупа БЛ-2 имеет осветитель, питаемый от батареек.
2. Цена деления луп ЛИЗ-10 и ЛИ4-10 — 0,1 мм; длина шкалы 15 мм.

Таблица XV.7.2

Техническая характеристика микроскопов, применяемых для оптического контроля

Тип микроскопа	Увеличение, крат	Линейное поле зрения, мм	Рабочее расстояние, мм	Назначение
Биноклярный БМ-51-2	8,75	25	140	Осмотр контролируемых деталей
Биноклярный МБС-1	3,5—88	39—2,6	64	Выявление и измерение дефектов на контроли- руемых деталях
Биноклярный МБС-2	3,5—88	39—2,6	64	Выявление и измерение дефектов на деталях сложной формы (снабжен осветителем 8; 127; 220 В, 20 Вт)
Биноклярный МБС-3	4—100	—	100	Выявление дефектов на деталях сложной формы (имеет осветитель)
Стереоскопический МССО	3,3—206	44—1	109	Выявление дефектов на деталях наибольших размеров

Таблица XV.7.3

Техническая характеристика линзовых эндоскопов, применяемых для оптического контроля

Тип эндоскопа	Максималь- ная глубина наблюдения, мм	Увеличение, крат, при наблюдении		Ширина кольца при кольцевом наблюдении, мм	Линейное поле зрения при боковом наблюдении, мм	Разрешающая способ- ность, мкм, при наблюдении		Напряже- ние питания осветителя, В
		кольцевом	боковом			кольцевом	боковом	
ПД-60 (перископический дефек- тоскоп)	900	—	4	—	14	—	—	27
ПДК-60 (перископиче- ский дефектоскоп колен- чатый)	—	0,5—2,5	—	—	45—110	—	300	27
Разведчик внутренних полостей:								
РВП-467	4200	2,6—6	—	25—45	—	30—60	—	27
РВП-457	2100	2,2—4,5; 3,1—6,2	3,2—6,5; 4,4—8,9	10,8—21,7	10,8—21,7	30—80	—	27
РВП-451	7500	3,3—5,3	6,9—11,7	—	—	40—60	25—40	110/220
РВП-461	16 500	0,3—4,6	0,95—5,4; 1—3,2	100—940	50,4—280	—	40—140; 100—250	12

ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ, УЗЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ ОПТИЧЕСКОМУ ВИЗУАЛЬНОМУ КОНТРОЛЮ

Эффективное использование оптических приборов возможно лишь при контроле деталей и узлов изделий, конструкции которых обеспечивают возможность проведения оптического визуального контроля. Контроль конструкций, выполненных без учета особенностей метода, затруднен или невозможен. Основные особенности оптического визуального контроля сводятся к следующему.

1. Конструкции контролируемых деталей, узлов и изделий должны обеспечивать свободный доступ оптических приборов и источников освещения к контролируемым участкам, их размещение и переме-

щение. С этой целью в конструкциях деталей сложной формы необходимо предусмотреть наличие смотровых пазов, желобов, канавок, а при контроле внутренних полостей — смотровых люков, окон и других технологических проемов.

Форма, размеры и расположение проемов определяются типом применяемого оптического прибора, источника освещения, а также светотехническими свойствами контролируемой поверхности. Все проемы должны обеспечивать беспрепятственный подход к элементам конструкций и возможность проведения всех операций контроля в полном объеме.

2. Оптическому контролю подлежат детали после тщательной очистки контролируемой поверхности от загрязнений производственно-технологического и эксплуатационного характера (масло, эмульсии, копоть, нагар, коррозионные и другие загрязнения).

Глава 8. ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ

В основе тепловых методов неразрушающего контроля — термодетектоскопии — лежит закономерность повышения термического сопротивления на дефектном участке из-за нарушения сплошности материала и неразъемного соединения.

В связи с тем, что измерение и регистрация температурного поля на поверхности контролируемого объекта осуществляются по интенсивности инфракрасного (ИК) излучения, метод получил название ИК-термодетектоскопии.

В зависимости от способа теплового нагружения контролируемого объекта, в результате которого на поверхности последнего формируется температурное поле, адекватное теплопроводности материала в любой точке, различают два основных метода ИК-термодетектоскопии:

1) стационарный, когда тепловой поток через объект создается путем нагревания одной стороны и одновременного охлаждения другой, обращенной к ИК-радиометру, стационарными тепловыми потоками;

2) нестационарный, когда тепловой поток создается локальным сканирующим или импульсным стабилизированным тепловым потоком, а охлаждение противоположной стороны производится только в целях увеличения градиента температур на качественном и дефектном участках объекта или в целях стабилизации температуры контролируемого объекта во время контроля.

При этом в любом случае охлаждение и нагрев поверхностей контролируемых объектов, обращенных к ИК-радиометру, производится газом, прозрачным в ИК-области, например воздухом.

В качестве преобразователей ИК-излучения в этом случае используются ИК-радиометры и тепловизионные ИК-системы — тепловизоры. Эти системы позволяют с помощью фотоприставок ре-

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

гистрировать температурные поля в виде термо-рейфа или термограммы.

Методы ИК-термодетектоскопии могут быть применены для контроля

— пайки торцов сотового блока с обшивкой в сотовых панелях;

— диффузионной сварки в тонколистовых многослойных конструкциях и сотовых панелях и т. п.;

— склейки теплозащитных покрытий с металлом, композиционных материалов на полимерной основе между собой и с металлом и т. п.;

— сплошности листовых композиционных материалов на полимерной основе, материалов, полученных методом порошковой металлургии, и т. п.;

— теплопроводности в изделиях из полупроводниковых материалов и т. п.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИК-ТЕРМОДЕТЕКТОСКОПИИ

Несмотря на то, что методы ИК-термодетектоскопии в настоящее время еще недостаточно разработаны и плохо оснащены средствами теплового нагружения и регистрации, целесообразность их применения диктуется целым рядом преимуществ, что в сочетании с другими методами неразрушающего контроля позволяет получить широкую информацию о дефектах.

Основными преимуществами метода являются: осуществление контроля без механического контакта;

контроль изделий с сильно шероховатыми поверхностями;

контроль нежестких конструкций;

контроль многослойных изделий с резко отличающимися по модулю упругости слоями;

возможность автоматизации процесса контроля;
исключение субъективности оператора в оценке качества;

наличие документа.

В случае применения метода ИК-термодефектоскопии предприятию необходимо изготовление средств теплового нагружения, измерения и регистрации температурных полей и сканирующих устройств по технической документации НИАТ.

Выбор методов и средств ИК-термодефектоскопии в зависимости от геометрических и теплофизических параметров объекта следует производить по согласованию с НИАТом. При этом следует руководствоваться технологическими рекомендациями ТР-446—71 «Инфракрасная термодефектоскопия» (НИАТ, 1971) и ТР-1286—75 «Инфракрасная термодефектоскопия. Оборудование» (НИАТ, 1975).

Те или иные методы и средства ИК-термодефектоскопии выбирают в зависимости от требований, предъявляемых к чувствительности и производительности процесса контроля.

Так, например, в качестве

— источника теплового нагружения (нагрева) могут быть использованы световая печь, горячий поток газа или жидкости, пламя сварочной горелки и т. п. При этом удельная мощность теплового потока q определяется расчетом в зависимости от теплофизических и геометрических параметров контролируемого изделия и может колебаться от 1 до 1000 Вт/см²;

— измерительных и регистрирующих инфракрасных систем рекомендуется использование разработанного НИАТом ИК-радиометра РИКС-5М, тепловизора «Рубин-2» Азовского ОМЗ, инфракрасной

тепловизионной системы «АГА Термовизор ТНВ-680» и ИК-системы «АГА Термопрофиль ТНР-1» шведской фирмы АГА.

Эти системы позволяют получить документы в виде терморельефа и термограммы на фотопленке и электротермической бумаге.

Сравнительные технические характеристики рекомендуемых ИК-систем приведены в таблице.

Следует иметь в виду, что для осуществления процесса ИК-термодефектоскопии, кроме систем теплового нагружения и инфракрасных измерительных и регистрирующих систем, перечисленных выше, установки ИК-термодефектоскопии должны быть оснащены механизмами сканирования (механического перемещения по заданной программе) контролируемого объекта в процессе контроля. Разработка и изготовление этих механизмов и установок должны производиться предприятиями в зависимости от геометрии и номенклатуры контролируемых объектов и требований к чувствительности метода.

Общие требования к тепловому неразрушающему контролю регламентированы ГОСТ 23483—79 [10].

Чувствительность метода зависит от параметров теплового нагружения, чувствительности ИК-системы, геометрических (толщина и форма) и теплофизических (теплопроводность λ , Вт/м·град; удельная теплоемкость c , Дж/кг·град; плотность ρ , кг/м³ и т. п.) параметров контролируемого объекта, вида и глубины залегания дефекта и, как правило, может быть определена только в процессе контроля.

Чувствительность метода ИК-термодефектоскопии для конкретных изделий приводится в следующей главе.

Краткие технические характеристики рекомендуемых ИК-систем

Параметры	ИК-радиометры и тепловизоры			
	РИКС-5М	«Рубин-2»	«АГА Термовизор ТНВ-680»	«АГА Термопрофиль ТНР-1»
	Изготовитель			
	НИАТ	АОМЗ	Фирма АГА (Швеция)	
Чувствительность, °С (на уровне 30 °С)	0,1	0,1	0,2	0,2
Диапазон измеряемых температур, °С	30—200	18—200	—30 ÷ +2000	—20 ÷ +1000
Частота строк, 1/с	3—8	160	1600	16
Частота кадров	—	2,5 кадр/мин	16 кадр/с	—
Диапазон фокусировки, м	1,2—2,5	0,4—∞	0,95—∞	1—∞
Мгновенный угол зрения	1—2 мрад	6—9'	1,3 мрад	5 мрад
Угол сканирования, град.	±5 (по вертикали)	—	—	80 (40; 20; 10)
Угол обзора, град.	—	15×20	25×25 (40×40)	—
Регистрация (вид записи)	Терморельеф на 35-мм фотопленке с ЭЛТ осциллографа; термопрофиль на ЭЛТ осциллографа	Термограмма на электротермической бумаге; термопрофиль визуально на ЭЛТ осциллографа	Термограмма на тепловизионном экране; фототермограммы; терморельеф	Термопрофиль на ЭЛТ; фототермопрофиль

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ ИК-ТЕРМОДЕФЕКТОСКОПИИ

Успешное применение методов ИК-термодефектоскопии для контроля качества неразъемных соединений (таких, как диффузионная сварка, пайка, склейка и т. п.), сплошности композиционных материалов на полимерной основе и деталей, полученных методом порошковой металлургии, обуславливается получением на поверхности объекта, обращенной к ИК-системе, температурного поля с достаточным перепадом температур на качественном и дефектном участках.

При этом необходимо учитывать следующее. Абсолютные размеры выявляемых дефектов уменьшаются с увеличением глубины их залегания от поверхности, обращенной к ИК-системе, в результате обтекания их тангенциальными тепловыми потоками. Это ухудшает выявляемость дефектов и практически позволяет обнаруживать дефекты только размером в 2—3 раза больше глубины их залегания.

С учетом изложенного наиболее технологичными для ИК-термодефектоскопии является контроль качества:

- диффузионной сварки, пайки и склейки в тонколистовых металлических и полимерных конструкциях любой формы при условии двустороннего подхода;

- диффузионной сварки и пайки тонких (до 1 мм) листов с массивной подложкой при одностороннем подходе со стороны тонкого материала;

- диффузионной сварки и сплошности изделий из композиционных материалов, полученных методом порошковой металлургии (толщиной до 10 мм) при двустороннем подходе;

- пайки:

- а) торцов сотового блока с обшивкой в сотовых панелях;

- б) рубашки к корпусу теплообменника;

- склейки с металлическим корпусом и сплошности основного материала в тонколистовых (до 10 мм) многослойных конструкциях из стеклопластиков и асботекстолита при двустороннем подходе;

- сплошности углепластика на полимерной основе, склейки углепластиков между собой и с металлом при двустороннем подходе.

Ниже приводятся технологические приемы ИК-термодефектоскопии конкретных изделий.

Контроль качества пайки торцов сотового заполнителя (с условным диаметром ячейки 2,5—3,0 мм и толщиной фольги 0,2 мм) с основанием в сотовых уплотнениях ГТД осуществляется на установке УИТ-6 (НИАТ). Контролю подвергаются изделия диаметром 200—1200 мм и высотой до 100 мм с полосой сотоленты шириной до 35 мм. Тепловое нагружение производится путем одновременного обдува торцов сотового заполнителя горячим ($T_r = 180 \div 300^\circ\text{C}$) и обечайки или корпуса холодным ($T_x = 20 \div 30^\circ\text{C}$) потоками воздуха при вращении изде-

лия с окружной скоростью $v_{\text{окр}} = 2 \div 3$ мм/с. В процессе контроля обнаруживаются дефекты (отсутствие пайки) размером в 2—3 ячейки.

Контроль сплошности и качества склейки с корпусом теплозащитных покрытий в РДТТ осуществляется на установке УИТ-7 (НИАТ — ДМЗ). Контролю подвергаются изделия диаметром 300—500 мм со слоем ТЗП на внутренней поверхности (толщиной 5—10 мм). Тепловое нагружение контролируемых изделий осуществляется следующим образом: изделие при вращении с окружной скоростью 10—30 мм/с нагревается со стороны теплозащитных покрытий световым потоком (кварцевой лампой с параболическим зеркальным отражателем) с удельной мощностью $q = 10$ Вт/см². В целях увеличения перепада температуры на качественном и дефектном местах и стабилизации температуры изделия в процессе контроля корпус снаружи обдувается потоком холодного ($T_x = 20 \div 30^\circ\text{C}$) воздуха от промышленной сети. Метод позволяет определять расслоения ТЗП и непроклеи размером 15—30 мм (равны 2—3 толщинам).

Контроль сплошности и теплопроводности изделий из композиционных материалов, полученных методом порошковой металлургии, осуществляется на установке УИТ-3 (НИАТ) при стационарном тепловом нагружении горячим ($T_r = 120^\circ\text{C}$) и холодным ($T_x = 20^\circ\text{C}$) стабилизированными потоками воздуха путем одновременного обдува противоположных поверхностей плоских изделий. В процессе контроля определяются изменение теплопроводности и дефекты диффузионной сварки.

Во всех приведенных примерах измерение и регистрация температурного поля на поверхности контролируемого изделия производится оптико-механической системой ИК-радиометра.

С учетом изложенного при конструировании деталей и узлов, подлежащих неразрушающему контролю тепловыми методами — ИК-термодефектоскопией, необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Контроль паяного соединения торцов сотового блока с обшивкой должен осуществляться при двустороннем подходе, при этом чем тоньше обшивка, тем эффективнее теплообмен на ней.

2. Контроль трубчатоболочковых конструкций осуществим при условии интенсивного нагрева водой стенок трубок и охлаждения воздухом оболочки.

3. Контроль сплошности и неразъемных соединений тонколистовых материалов может осуществляться только при двустороннем тепловом нагружении.

4. Контроль клеевого соединения полимерного композиционного материала с металлической конструкцией может быть осуществлен только при нагреве с его стороны.

5. При обосновании выбора теплового контроля пользоваться технологическими рекомендациями ТР-446—71 (НИАТ, 1971).

6. Контроль наиболее ответственных узлов сложной формы должен быть согласован со специалистами НИАТ.

Глава 9. КОНТРОЛЬ ТЕЧЕИСКАНИЕМ

СУЩНОСТЬ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
КОНТРОЛЯ ТЕЧЕИСКАНИЕМ

Контроль течеисканием* проводится в целях выявления отдельных течей или определения суммарной негерметичности изделий, узлов и отдельных элементов конструкций, для нормальной работы которых недопустимо падение давления в течение заданного времени ниже установленной нормы, а также изделий, рабочее вещество которых пожароопасно или токсично. К числу таких изделий относятся:

— баки — кессоны, топливные баки, баллоны, камеры сгорания и др.;

— трубопроводные системы — топливная, гидравлическая, воздушная, кислородная и др.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАЗНАЧЕНИЮ
СТЕПЕНИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Степень герметичности (величина утечки рабочего вещества) измеряется потоком, единицы измерения которого могут быть различными в зависимости от выбранных единиц объема, давления и времени.

В технике контроля герметичности и в вакуумной технике поток газа обычно измеряется в л·мкм рт. ст./с или м³Па/с.

Численная величина степени герметичности задается конструктором в единицах потока газа или в единицах объемного расхода жидкости из условий обеспечения надежной работы изделия и не должна быть меньше необходимого уровня, чтобы не повышать стоимость производства.

Величина степени герметичности задается в соответствии с требованиями ОСТ 1.00128—74 «Герметичность изделий. Нормы».

Величина степени герметичности (а в случае необходимости, и специальные требования к условиям контроля) заносится в чертеж или ТУ. Указания чертежа или ТУ являются исходным материалом для выбора метода течеискания, разработки технологической схемы и определения режимов контроля герметичности.

Степень герметичности может быть задана величиной:

— суммарной негерметичности (утечки) для всей поверхности проверяемого объекта;

— суммарной негерметичности (утечки) для единицы площади или единицы погонной длины соединения, например сварного шва;

— допустимой утечки через отдельную течь в соединениях или в сплошном материале.

Величина суммарной негерметичности объекта, подлежащего контролю, может быть рассчитана одним из следующих способов:

1) в случаях, когда по условиям эксплуатации объекта в нем ограничивается величина падения

давления газа за установленное время, величина суммарной негерметичности в единицах газового потока вычисляется по формуле

$$Q = \frac{V \Delta P}{t},$$

где Q — степень герметичности объекта (суммарная утечка рабочего газа), л·мкм рт. ст./с;
 V — внутренний объем объекта, л;
 ΔP — допустимое падение давления в объекте, измеряемое в мкм рт. ст. за время t , с;

2) для объектов, в которых в качестве рабочего вещества используются токсичные либо пожароопасные газы или жидкости, величина суммарной негерметичности в единицах массы вычисляется по формуле

$$G = \frac{C_{\text{доп}}}{\tau} V_{\text{н}},$$

где G — степень герметичности объекта в единицах массы, мг/с;

$C_{\text{доп}}$ — предельно допустимая концентрация (ПДК) паров рабочего вещества, мг/л;

τ — время, за которое допускается увеличение концентрации паров рабочего вещества до ПДК, с;

$V_{\text{н}}$ — объем (отсек, помещение и т. п.), в котором не допускается концентрация паров рабочего вещества выше ПДК, л.

Переход от единиц массы к единицам газового потока осуществляется путем пересчета с помощью формулы

$$Q_{\text{т}} = \frac{G}{\rho},$$

где $Q_{\text{т}}$ — степень герметичности объекта (суммарная утечка токсичного газа или жидкости) в единицах газового потока, см³·атм/с;

ρ — плотность газа или паров жидкости, г/л.

Степень герметичности объекта должна рассчитываться для наихудших условий его эксплуатации.

Если при контроле герметичности применяется метод течеискания, чувствительность которого значительно превышает заданную степень герметичности, и при этом обнаруживаются меньшие утечки, чем заданные в ТУ, то решение о годности изделия принимается согласно установленному на предприятии (организации) порядку.

Примечание. Такие утечки можно считать допустимыми, если экспериментально подтверждено, что они не влияют на эксплуатационные характеристики, качество и надежность объекта. Результаты экспериментов должны специально оговариваться в ТУ.

При контроле герметичности очень часто вместо рабочей среды используются другие газы или жидкости; измерения потоков производятся при давлениях, отличных от рабочих.

Связь между величинами потоков рабочих и контрольных веществ через одни и те же микронеплотности (эквивалент утечек) определяется по формулам:

* Основные понятия и термины, применяемые в технике контроля течеисканием, приведены в ПИ-155—70 [21].

для вязкостного режима течения газов ($Q \approx 1 \cdot 10^{-3}$ л·мкм рт. ст./с)

$$\frac{Q_p \eta_p}{P_{p_1}^2 - P_{p_2}^2} = \frac{Q_k \eta_k}{P_{k_1}^2 - P_{k_2}^2};$$

для молекулярного режима течения газов ($Q \approx 1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-5}$ л·мкм рт. ст./с)

$$\frac{Q_p \sqrt{M_p}}{P_{p_1} - P_{p_2}} = \frac{Q_k \sqrt{M_k}}{P_{k_1} - P_{k_2}};$$

для ламинарного режима течения жидкостей

$$\frac{Q_{ж.р} \eta_p}{P_{p_1} - P_{p_2}} = \frac{Q_{ж.к} \eta_k}{P_{k_1} - P_{k_2}}.$$

В формулах приняты следующие обозначения:

- Q — поток газа в единицу времени;
 $Q_{ж}$ — поток жидкости в единицу времени;
 P_1 — давление на входе в неплотность;
 P_2 — давление на выходе из неплотности;
 M — молекулярный вес газа;
 η — коэффициент вязкости газа или жидкости.

Индексы р и к относятся к рабочим и контрольным веществам соответственно.

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕЧЕЙСКАНИЕМ

Качество и надежность контроля герметичности, помимо технических характеристик применяемого метода течейсания, обуславливаются конструкцией изделия — доступностью визуального осмотра и подхода со щупом к контролируемым поверхностям и соединениям, возможностью создания в изделии избыточного давления при проведении контроля и т. п.

Учитывая это, при конструировании объектов и их элементов, подлежащих контролю герметичности, следует руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Объекты, подлежащие контролю герметичности под избыточным давлением, должны предусматривать вводы (штуцера, люки, горловины и т. п.) для подачи контрольного вещества (газа, жидкости) и его удаления путем продувки. Конструкция отдельных деталей, не имеющих замкнутой полости (крышки, обечайки и т. п.), но требующих контроля герметичности до сборочных операций, должна обеспечивать возможность постановки технологических заглушек или устройств для создания замкнутой полости.

2. В конструкциях баков-кессонов, топливных баков и систем не должно быть тупиковых зон, в которые затруднена подача контрольного вещества при контроле герметичности.

3. Наружная поверхность агрегатов должна обеспечивать возможность постановки накладных камер для создания местных замкнутых объемов.

4. Для обеспечения контроля герметичности внутренних деталей крупногабаритных объектов в них должны быть предусмотрены люки и технологические отверстия.

5. Конструкция ниш на объектах должна быть такой, чтобы обеспечить доступ щупа к контролируемым местам.

6. При выборе материала конструкции необходимо учитывать допустимость его контактирования с водой или индикаторными массами на водной основе.

7. Технологический процесс монтажа трубопроводов должен предусматривать промежуточный контроль герметичности участков трубопровода, доступ к которым затруднен после завершения монтажа.

8. Места разъемов между участками с затрудненными условиями контроля должны выбираться с таким расчетом, чтобы обеспечить их наименьшую трудоемкость контроля после завершения монтажа.

9. При разработке технологического процесса монтажа трубопроводов рекомендуется предусматривать совмещение операций контроля герметичности с операциями, близкими по технике выполнения, например с операциями продувки, промывки гидросистем и т. п.

10. Контроль герметичности рекомендуется проводить до нанесения лакокрасочных покрытий. При недопустимой суммарной негерметичности менее 10^{-4} л·мкм рт. ст./с это требование должно выполняться обязательно.

11. Конструкции с недопустимой суммарной негерметичностью менее 10^{-5} л·мкм рт. ст./с должны допускать возможность нагрева до температуры $450-500^\circ\text{C}$ в вакууме, необходимого для удаления из микронеплотностей атмосферной влаги.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕЧЕЙСКАНИЕМ

В таблице приведены характеристики методов течейсания, область их применения, требования к конструкции объекта контроля, позволяющие по заданной степени герметичности на изделие выбрать приемлемый для производства метод (способ) течейсания для контроля герметичности.

Метод (способ) течейсания	Тип прибора-течейсателя	Предельная чувствительность, л·мкм рт. ст./с	Контролируемый параметр	Объект контроля	Требования к конструкции объекта контроля
I. Масс-спектрометрический метод (пробное вещество — гелий; контрольная смесь — гелий с воздухом или азотом; индикация утечки — по стрелочному прибору течейсателя и звуковому сигналу)					

Метод (способ) теченскания	Тип прибора-течеискателя	Предельная чувствительность, л·мкм рт. ст.	Контролируемый параметр	Объект контроля	Требования к конструкции объекта контроля
1. Способ вакуумирования с применением: — вакуумной камеры	ПТИ-6 ПТИ-7 ПТИ-7А ПТИ-10	$1 \cdot 10^{-6}$ (по гелию), объем камеры до 1 м^3 ; $1 \cdot 10^{-3}$ (по гелию), объем камеры более 1 м^3	Суммарная негерметичность	Системы в сборе, агрегаты, узлы, готовые изделия	—
— разъемной вакуумной камеры	То же	То же	То же	Готовые изделия, узлы, соединения систем	Наличие прямолинейных участков в зоне соединений шириной 20—30 мм. Круговой зазор между проверяемым соединением и элементами конструкции не менее 20 мм
— вакуумных присосок	„	$1 \cdot 10^{-6}$ (по гелию)	Суммарная негерметичность ограниченного участка поверхности	Сварные швы, крышки люков, поверхность элементов конструкций с односторонним подходом	Прямолинейные участки в проверяемых зонах, допускающие постановку присосок
2. Способ «щупа»	„	$5 \cdot 10^{-4}$ (по гелию)	Частные (отдельные) утечки	Все виды разъемных (ниппельные, фланцевые и т. п.) и неразъемных (сварные, клееные, паяные и т. п.) соединений и поверхности конструкций	Свободный доступ щупа с насадкой к проверяемой поверхности, соединениям
3. Способ накопления при атмосферном давлении (НАД)	„	$1 \cdot 10^{-5}$ (по гелию)	Суммарная негерметичность	Готовые изделия, узлы, соединения систем	Возможность помещения объекта в испытательную камеру и установки на его поверхность накладной камеры
II. Галогенный метод (пробное вещество — фреон; контрольная смесь — фреон с воздухом или азотом; индикация утечки — по стрелочному прибору течеискателя и звуковому сигналу)	„				
1. Способ щупа	ГТИ-3 ГТИ-6 ВАГТИ-4	$6 \cdot 10^{-2}$ — $5 \cdot 10^{-3}$	Частные (отдельные) утечки	Все виды разъемных (ниппельные, фланцевые и т. п.) и неразъемных (сварные, клееные, паяные и т. п.) соединений и поверхности конструкций	Свободный доступ выносного щупа-пистолета к проверяемым местам
2. Способ вакуумирования	ВАГТИ-4 ГТИ-6	$5 \cdot 10^{-3}$ — $1 \cdot 10^{-4}$	Суммарная негерметичность	Готовые изделия, узлы, соединения систем	—
III. Пневматический метод с применением индикаторных масс на глицериновой основе (контрольный газ — воздух или азот, индикация утечки — по пузырькам, образующимся в индикаторной массе в местах утечек). Контроль допустим при температурах от -50 до $+30^\circ\text{C}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$ $1 \cdot 10^{-2}$	Частные (отдельные) утечки То же	Все виды неразъемных соединений (сварные, клееные, паяные и т. д.) Ниппельные и фланцевые соединения	Свободный доступ для нанесения индикаторной массы и наблюдения за ней То же
IV. Люминесцентный метод контроля герметичности при рабочих температурах (контрольное вещество — смесь жидкостей АМГ-10 и 750-СЗ. Индикация утечки — свечение пробного вещества в местах течей при облучении ультрафиолетовыми лучами)					
Способ накопления при рабочих температурах (НРТ) до $+200^\circ\text{C}$	УФО-4А ДРШ-250	$1 \cdot 10^{-2}$	„	Готовые изделия гидросистемы	—

Метод (способ) течеискания	Тип при- бора-тече- искателя	Предельная чувствительность, л·мкм рт. ст.	Контролируемый параметр	Объект контроля	Требования к кон- струкции объекта контроля
V. Гидростатический метод контроля топливных систем (контрольное вещество — керо- син; индикация утечки — пятна керосина на меловой обмозке в местах течей)					
1. Гидростатический метод опрессовочный при давлении 0,5—5 кгс/см ²	—	5·10 ⁻²	Частные (отдель- ные) утечки	Замкнутые объемы (топливные отсеки)	Свободный доступ к наружной поверхности для нанесения меловой обмозки и наблюдения за ней
2. Гидростатический метод — капиллярный контроль при ат- мосферном давлении	—	1,0	То же	Замкнутые объемы за- готовки и др.	Керосин наносится кистью
VI. Пневмогидравлический метод аквариума (контрольный газ — воздух или азот; индика- ция утечки — по пузырькам газа в местах течей в воде или спирте)					
1. Способ пневмогидравличе- ский с применением воды	—	1·10 ⁻²	"	Малогабаритные изде- лия, комплектующие го- товые изделия, узлы	Возможность погруже- ния объекта в воду или спирт
2. Способ пневмогидравличе- ский с применением спирта	—	5·10 ⁻³	"		
VII. Пневмогидравлический метод (баро-аквариум) (кон- трольный газ — воздух или азот; индикация утечки — по пузырькам газа в местах течей в воде при создании разреже- ния над уровнем воды)	—	5·10 ⁻³ —5·10 ⁻⁴	"	Готовые изделия, узлы	Возможность погруже- ния объекта в воду
VIII. Акустический метод (контрольный газ — воздух или азот; индикация утечки — по ультразвуковым колебаниям, возникающим при истечении газа через дефект)	ТУЗ-5М	10	"	Фюзеляжи, предвари- тельный контроль топлив- ных баков и их перебо- рок, системы кондициони- рования	Возможность ориента- ции шупа относительно контролируемого места
IX. Гидростатический метод контроля силовых гидравличе- ских систем (контрольное веще- ство — рабочая жидкость; инди- кация утечки — отпотевание наружной поверхности элемен- тов конструкций гидросистем или масляные пятна на филь- тровальной бумаге)	—	1,0—2,0	"	Соединения трубопро- водных систем	Свободный доступ для осмотра и протирки филь- тровальной бумагой про- веряемых соединений
X. Люминесцентный метод (контрольное вещество — люми- несцентная жидкость типа ЛЖ-14, ЛЖ-15 и др.; индика- ция утечки — свечение люминес- центной жидкости при облуче- нии ультрафиолетовыми лу- чами)					
1. Способ люминесцентный опрессовочный (контрольное вещество — жидкость ЛЖ-15)	УФО-4 ДРШ-250	5·10 ⁻³	"	Крупногабаритные агрегаты (отсеки, баки)	Свободный доступ для подготовки проверяемой поверхности и нанесения люминесцентной жидко- сти
2. Способ визуальный люми- несцентный с применением жид- кости ЛЖ-14	То же	2·10 ⁻²	"	То же	То же

Метод (способ) течения	Тип при- бора-тече- искателя	Предельная чувствительность, л·мкм рт. ст.	Контролируемый параметр	Объект контроля	Требования к кон- струкции объекта контроля
XI. Инфракрасный газовый метод (контрольный газ — закись азота; индикация утечки — по цифровому показывающему прибору и по звуковой и световой сигнализациям)					
1. Способ «щупа»	ИГТ-1	$2 \cdot 10^{-2}$	„	Все виды разъемных (нипельные, фланцевые и т. п.) и неразъемных (сварные, клееные, паяные и т. п.) соединений и поверхности конструкций	Свободный доступ щупа к проверяемым местам
2. Способ «вакуумирования»	„	$2 \cdot 10^{-2}$	„	Готовые изделия, узлы, соединения систем	—
3. Способ «накопления»	„	$2 \cdot 10^{-3}$	„	То же	—
XII. Манометрический метод (контрольное вещество — жидкость или газ; индикация утечки — по манометру или измерителю давления)					
1. Способ «падения давления»	Манометры (образцовый, ртутный, водяной)	Зависит от объема изделия и цены деления манометра	Суммарная негерметичность	Системы в сборе, баки	—
	АИСТ-1	$2 \cdot 10^{-3}$ (для объемов до 2000 л)	То же	Системы в сборе, баки, фюзеляжи	—
2. Способ «дифференциально-го манометра»	—	Зависит от объема изделия и цены деления манометра	„	То же	—

Глава 10. КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Различные технологические дефекты при производстве изделий, а также дефекты, возникающие при их эксплуатации, во многих случаях удается выявить одним из рассмотренных выше методов неразрушающего контроля.

Однако большое разнообразие используемых материалов с различными физико-механическими свойствами, конструктивных форм литых деталей, а также сварных, паяных и других неразъемных соединений, методов и технологических процессов их изготовления требует применения комплекса взаимодополняющих методов неразрушающего контроля.

Выбор необходимых сочетаний методов неразрушающего контроля определяется специфическими особенностями отдельных методов, областью их рационального применения, а также требованиями технических условий на изготовление и приемку контролируемых изделий. Однозначную рекомендацию по выбору наиболее рационального метода или сочетания методов неразрушающего контроля и оптимальному порядку их применения дать не-

возможно. Эти вопросы решаются в каждом конкретном случае с учетом конструктивных особенностей контролируемых изделий.

Комплексный неразрушающий контроль деталей, соединений, узлов и механизмов летательных аппаратов применяют в следующих основных случаях:

1. При необходимости выявления в контролируемых изделиях различных по характеру, форме, размерам, расположению и количеству внутренних и наружных дефектов.

2. При внедрении новых материалов, видов неразъемных соединений и изделий.

3. При внедрении новых, более эффективных методов неразрушающего контроля.

4. Если возникает сомнение в надежности применяемого метода неразрушающего контроля.

Наибольшее применение для контроля качества литых деталей, сварных, паяных и других неразъемных соединений, а также собранных узлов и механизмов изделий нашли радиационный, акустический (в том числе ультразвуковой), магнитный, ка-

Область комплексного применения неразрушающих методов контроля стыковых соединений, выполненных сваркой плавлением

Толщина контролируемого металла, мм	Рекомендуемые сочетания видов неразрушающего контроля соединений				
	низкоуглеродистая + +низколегированная стали	высоколегированные, в том числе аустенитные, стали и жаропрочные сплавы + шов мелкозернистой структуры	высоколегированные, в том числе аустенитные, стали и жаропрочные сплавы + шов крупнозернистой структуры	титановый сплав + титановый сплав	алюминиевый сплав + +алюминиевый сплав
До 4	Оптический + +радиационный + +магнитный или капиллярный	Оптический + +радиационный + +капиллярный	Оптический + +радиационный + +капиллярный	Оптический + +радиационный + +капиллярный	Оптический + +радиационный + +капиллярный
4—25	Оптический + +радиационный или ультразвуковой + +магнитный или капиллярный	Оптический + +радиационный или ультразвуковой + +капиллярный	То же	Оптический + +радиационный или ультразвуковой + +капиллярный	Оптический + +радиационный или ультразвуковой + +капиллярный
25—80	То же	Оптический + +радиационный + +капиллярный	»	То же	То же
80—250	Оптический + +ультразвуковой или радиационный + +магнитный или капиллярный	То же	»	Оптический + +ультразвуковой или радиационный + +капиллярный	»
250—500	То же	»	»	То же	Оптический + +ультразвуковой или радиационный + +капиллярный
Св. 500	Оптический + +ультразвуковой + +магнитный или капиллярный	»	»	»	То же

пиллярный и оптический виды неразрушающего контроля, обеспечивающие достаточно надежное обнаружение большинства из подлежащих выявлению видов дефектов и требуемую производительность контроля.

Оптимальный порядок применения видов и методов неразрушающего контроля устанавливают в каждом конкретном случае исходя из требуемой надежности, производительности и специфических условий контроля.

В качестве примера в таблице приведена область комплексного применения видов неразрушающего контроля стыковых соединений, выполненных сваркой плавлением. Наряду со специфическими особенностями технологии различных методов дефектоскопии в рассмотренном примере в качестве критерия при определении области комплексного применения видов неразрушающего контроля стыковых сварных соединений взяты толщина и тип материала соединения.

Если нормами отбраковки ответственных деталей сварных соединений предусмотрено выявление одиночных пор и инородных включений сравнительно малых размеров, оговорена недопустимость трещин и непроваров, предъявляются жесткие требования по выявлению поверхностных дефектов, то обеспечить выполнение этих норм и требований можно сочетанием радиографического и ультразвукового

видов контроля, применяемых в комплексе с методами обнаружения поверхностных дефектов. При этом наиболее эффективен следующий порядок комплексного применения видов контроля: оптический-ультразвуковой; после окончательной механической обработки и термообработки сварного соединения — оптический — радиационный — магнитный (или капиллярный).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев А. П. Электроиндуктивная (индукционная) дефектоскопия. М., «Машиностроение», 1967.
2. Контроль стальных деталей магнитопорошковым методом. Инструкция № 370—70. ВИАМ, 1970.
3. Контроль металлических деталей и полуфабрикатов ультразвуковым эхо-методом. Инструкция № 408—57. ВИАМ, 1957.
4. Люминесцентный метод контроля деталей. Инструкция № 412—69. ВИАМ, 1969.
5. Контроль деталей капиллярными методами. Инструкция № 971—70. ВИАМ, 1970.
6. Карякин А. В., Боровиков А. С. Люминесцентная и цветная дефектоскопия. М., «Машиностроение», 1972.
7. Запунный А. И., Фельдман Л. С., Роголь В. Ф. Контроль герметичности конструкций. Киев, «Техника», 1976.
8. Ультразвуковой контроль крупногабаритных поковок, штамповок, плит, прессованных профилей из алюминиевых сплавов и деталей, изготовленных из них. Методика МК 52-40—81. ВИС, 1981.

9. Ультразвуковой контроль катаных плит, плоских слитков и прессованных профилей. Методика МК 129-40—79. ВИС, 1979.
10. Методика измерения суммарной утечки при контроле герметичности способом «накопления». Методические материалы. НИАТ, 1975.
11. Неразрушающие методы контроля сварных и других неразъемных соединений изделий авиационной техники при эксплуатации и ремонте. Методические указания. НИАТ, 1977.
12. Румянцев С. В., Добромислов В. А., Борисов О. И. Типовые методики радиационной дефектоскопии и защиты. М., Атомиздат, 1979.
13. Румянцев С. В., Добромислов В. А., Борисов О. И., Азаров Н. Т. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. М., «Машиностроение», 1976.
14. Нормы радиационной безопасности (НРБ—76). М., Атомиздат, 1977.
15. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (ОСП—72). М., Атомиздат, 1973.
16. Румянцев С. В., Фурман К. С. Газосорбционная радиоизотопная дефектоскопия. М., Атомиздат, 1979.
17. Контроль герметичности изделий способом «щупа». ПИ-1.4.688—80. НИАТ, 1982.
18. Контроль герметичности гидрогазовых систем и их элементов (соединений узлов и агрегатов) способом «накопления при атмосферном давлении». ПИ-119—70. НИАТ, 1970.
19. Метод контроля герметичности агрегатов гидравлических и топливных систем способом «накопления при рабочих температурах». ПИ-151—69. НИАТ, 1969.
20. Контроль сварных и паяных соединений методами радиационной дефектоскопии. ПИ-1.4.415—78. НИАТ, 1980.
21. Контроль герметичности гидрогазовых систем и их элементов способом «вакуумирования». ПИ-155—70. НИАТ, 1970.
22. Подготовка поверхностей объектов к контролю герметичности. ПИ-161—70. НИАТ, 1971.
23. Контроль качества соединения обшивки с сотовым заполнителем акустическим импедансным методом на установке УКН-3. ПИ-1.4.995—81. НИАТ, 1981.
24. Контроль герметичности элементов гидрогазовых систем способом «бароаквариума». ПИ-212—75. НИАТ, 1972.
25. Контроль качества соединения обшивки с сотовым заполнителем акустическим импедансным методом на установке с программным управлением модели УКН-4П. ПИ 247—78. НИАТ, 1978.
26. Производство гидрогазовых систем. РТМ-1120. Части II и III. НИАТ, 1971.
27. Контроль герметичности кабин широкофюзеляжных самолетов. РТМ-1519—75. НИАТ, 1976.
28. Инфракрасная термодетектоскопия. ТР-446—71. НИАТ, 1971.
29. Инфракрасная термодетектоскопия. Оборудование. ТР-1286—75. НИАТ, 1975.
30. Румянцев С. В. Радиационная дефектоскопия. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Атомиздат, 1974.
31. Фельдман Л. С. Неразрушающий контроль качества клеесварных соединений. Киев, «Техника», 1973.
32. Шрайбер Д. С. Ультразвуковая дефектоскопия. М., «Металлургия», 1965.
6. ГОСТ 18442—73 «Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования».
7. ГОСТ 20426—81 «Контроль неразрушающий. Радиационные методы дефектоскопии. Область применения».
8. ГОСТ 21105—75 «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод».
9. ГОСТ 23479—79 «Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования».
10. ГОСТ 23483—79 «Контроль неразрушающий. Методы теплового вида. Общие требования».
11. ГОСТ 23480—79 «Контроль неразрушающий. Методы радиоволнового вида. Общие требования».
12. ОСТ 1.00128—74 «Герметичность изделий. Нормы».
13. ОСТ 1.00365—79 «Контроль неразрушающий. Карта неразрушающего контроля».
14. ОСТ 1.41097—78 «Контроль радиографический электронно-лучевой сварки. Схемы просвечивания».
15. ОСТ 1.42111—81 «Нормативы расхода рентгеновской пленки при рентгено- и гамма-дефектоскопическом контроле».
16. ОСТ 1.41158—71 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность способом «щупа» с применением теческатель типа ПТИ-7(6). Типовой технологический процесс».
17. ОСТ 1.41159—71 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность способом «НАД» с применением теческатель типа ПТИ-7 (6). Типовой технологический процесс».
18. ОСТ 1.41181—72 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность. Способ составления эталонной концентрации гелия. Типовой технологический процесс».
19. ОСТ 1.41182—71 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность. Очистка и обезжиривание наружных поверхностей деталей и узлов. Типовой технологический процесс».
20. ОСТ 1.41183—72 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность. Контроль герметичности пневматическим методом».
21. ОСТ 1.41184—72 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность. Метод калибровки контрольных течей по газовым пузырькам в жидкости».
22. ОСТ 1.41201—78 «Контроль ультразвуковой качества точечной электросварки».
23. ОСТ 1.41204—77 «Контроль качества обезжиривания металлических поверхностей. Люминесцентно-визуальный метод».
24. ОСТ 1.41315—72 «Очистка и обезжиривание струйным способом наружных поверхностей элементов систем перед испытанием их на герметичность. Типовой технологический процесс».
25. ОСТ 1.41317—72÷1.41320—72 «Системы гидрогазовые. Контроль герметичности капиллярным, манометрическим, пневмогидравлическим и ротаметрическим методами. Типовые технологические процессы».
26. ОСТ 1.41348—72÷1.41351—72 «Системы гидравлические. Контроль герметичности гидростатическим методом».
27. ОСТ 1.41352—72 «Системы гидрогазовые. Контроль герметичности керосино-меловым методом».
28. ОСТ 1.41373—73÷1.41377—73 «Испытание на герметичность гидравлических и топливных систем визуальным люминесцентным методом».
29. ОСТ 1.41405—73÷1.41409—73 «Испытание на герметичность емкостей гидрогазовых систем химическим методом с применением индикаторного раствора».
30. ОСТ 1.41410—73÷1.41413—73 «Контроль герметичности галоидным методом с созданием внутреннего избыточного давления в проверяемом объекте и химическим методом с применением индикаторного раствора».
31. ОСТ 1.41499—73÷1.41500—73 «Испытание гидрогазовых систем на герметичность способом «вакуумирования» с применением теческатель типа ПТИ-7».
32. ОСТ 1.41543—74 «Контроль радиографический паяных муфтовых соединений».
33. ОСТ 1.41584—75 «Паяные соединения трубопроводов. Метод контроля ультразвуком».
34. ОСТ 1.41800—78 «Контроль радиографический сварных трубопроводов. Схемы просвечивания».

Основные ГОСТы

ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее развитие технологии самолетостроения связано с широким использованием машинных методов проектирования изделий, программного управления оборудованием и средств объективного контроля. В этой связи особая роль принадлежит таким принципиально новым средствам бесконтактного контроля, как лазерные измерительные системы, которые обеспечивают обратную связь в процессе формирования геометрических параметров деталей, узлов и агрегатов изделий.

Автоматизированный характер и новое содержание процессов, связанных с воспроизведением формы и размеров изделий, определяют направления дальнейшего развития методов контроля самолетных конструкций. Основу современных методов бесконтактного контроля технологической оснастки, ее монтажа и увязки составляют следующие типы лазерных измерительных систем:

- лазерные центрирующие измерительные системы (ЛЦИС);

- лазерные контурные измерительные системы (ЛКИС);

- лазерные дальномерные измерительные системы (ЛДИС);

- лазерные измерители перемещений (ЛИП) — интерферометры.

С увеличением размеров самолетов постройка крупногабаритных ступеней и их увязка представляют сложную проблему, которая успешно решается с помощью лазерных центрирующих измерительных систем.

Разработаны высокоточные методы сборки самолетных конструкций на базе опорных лазерных лучей. С помощью ЛЦИС производят стыковку и нивелировку агрегатов изделий, что значительно повышает производительность и качество сборочных работ.

Для более эффективного использования лазерных методов монтажа, сборки и контроля самолетных конструкций необходимо уже в процессе проектирования планера учитывать особенности применения этих новых методов при производстве самолетов.

Глава 1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И МЕТОДОВ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

С созданием оптических квантовых генераторов (ОКГ) — лазеров расширились возможности классических методов оптических измерений, созданы необходимые условия для автоматизации измерений и регулирования процессов воспроизведения формы и размеров изделий.

Как известно, метод получения колебаний в квантовых приборах оптического диапазона (лазерах) основан на том, что внешнее электромагнитное излучение может взаимодействовать с микрочастицами вещества, называемого активным, и изменять его внутреннюю энергию, в результате чего возбужденные частицы из основного состояния могут переходить на более высокие энергетические уровни и определенное время находиться в возбужденном состоянии.

Внутренняя энергия предварительно возбужденных частиц активного вещества при излучательных

переходах, совершаемых под воздействием внешнего электромагнитного поля (индуцированные переходы) или самопроизвольно (спонтанное излучение), с более высоких энергетических уровней на менее высокие преобразуется в энергию электромагнитных колебаний.

Излучение обычных источников света (ламп накаливания, газоразрядных ламп и других) возникает за счет актов спонтанного испускания. Из-за хаотического случайного характера спонтанных переходов излучение этих источников монохроматично, ненаправленно, некогерентно и неполяризовано. Поэтому использование для метрологических целей обычных источников излучения менее эффективно, чем лазерных.

Излучение лазеров отличается высокой монохроматичностью и когерентностью в пространстве и во времени, следствием чего являются высокая на-

правленность и большая спектральная плотность мощности с определенной поляризацией излучения.

Под пространственной когерентностью понимает-ся корреляция фаз монохроматического излучения, исходящего из различных точек источника. В обычных источниках такая корреляция существует лишь для точек источника, расстояние между которыми соизмеримо с длиной волны в пределах излучаемого спектра. Фазы колебаний света от двух произвольно взятых точек поля не будут коррелированы, чем объясняется отсутствие интерференции света при размерах источника больше определенной величины.

Излучаемая лазером электромагнитная волна имеет почти плоский фронт, то есть фазы различных точек фронта будут одинаковы по всему сечению пучка.

Временная когерентность характеризуется корреляцией фаз колебаний в данной точке поля в любые два последовательных момента времени, разделенных интервалом $\Delta t = \frac{1}{\Delta \nu}$, где $\Delta \nu$ — ширина

спектра излучения. Разность хода лучей, при которой эти две волны, сведенные вновь, дают интерференционную картину, называют длиной когерентности ($C \Delta t$). Для обычных источников эта величина весьма мала. При большой разности хода приходящие одновременно в одну и ту же точку поля лучи не будут интерферировать, не будут принадлежать к одному и тому же акту испускания, и, следовательно, разность фаз этих волн не будет постоянной. Высокая степень временной когерентности лазерного излучения обусловлена исключительно малой шириной спектра излучения, то есть монохроматичностью.

Одним из важных свойств лазеров является высокая направленность излучения. Она обусловлена в основном дифракционными явлениями, которые возникают из-за конечной апертуры зеркал резонатора лазера, а также из-за особенностей его геометрии, приводящих к характерному распределению поля излучения в пространстве. Вследствие этого различают дифракционную расходимость и геометрическую. Расходимость излучения характеризуется телесным углом, в котором сосредоточена основная часть излучаемой энергии.

Расходимость луча по уровню половинной мощности определяется как $\Theta_{0,5} \approx \frac{\lambda}{D}$, где λ — длина волны излучения лазера; D — диаметр луча.

Из всех типов оптических квантовых генераторов наименьшим углом расходимости обладают газовые лазеры, в частности, гелий-неоновые.

В газовых средах инверсия возникает на возбужденных состояниях изолированных атомов, молекул или ионов. В этих условиях взаимодействие между частицами среды минимально, поэтому линии спонтанного излучения и поглощения наиболее узки (10^{-3} — 10^{-2} А). Ширина линии генерации газового лазера минимальна среди всех видов ОКГ и достигает 1 Гц. Вследствие того что газовая среда обладает гораздо большей оптической однородностью, в газовых ОКГ можно получить наименьший угол расхождения пучка. В ОКГ с плоскими зеркалами без каких-либо дополнительных кол-

лимирующих устройств угловая расходимость луча может быть порядка угловой минуты. Если зеркала резонатора сферические, то расходимость излучения будет существенно зависеть от того, какую кривизну имеет волновой фронт на выходе лазера.

Исходя из перечисленных особенностей в лазерных измерительных системах производственного назначения применяют в основном газовые, гелий-неоновые лазеры, работающие в одномодовом режиме.

Высокая когерентность, монохроматичность, узкая направленность, поляризация и, наконец, высокая плотность энергии — вот те основные свойства лазерного излучения, которые в настоящее время с успехом используют при создании принципиально новых измерительных приборов.

ЛАЗЕРНЫЕ ЦЕНТРИРУЮЩИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Наиболее важной областью практического применения гелий-неоновых лазеров является использование их в устройствах для центрирования объектов. В самолетостроении такие измерительные устройства называют лазерными центрирующими измерительными системами. ЛЦИС предназначены не только для центрирования, но и для контроля геометрических параметров крупногабаритных конструкций, монтажа технологической оснастки, сборки изделий, разметки и пр. За эталон прямолинейности в этих системах принимается ось кольцевой структуры луча.

ЛЦИС представляет собой оптико-электронное устройство, состоящее из типовых блоков. Она снабжена специальной установочной оснасткой для базирования приборов. Простейшая блок-схема ЛЦИС (рис. XVI.1.1) состоит из следующих элементов:

- излучателя 1, включающего гелий-неоновый лазер 2, модулятора 3 излучателя, коллиматора 4;
- стабилизированного блока питания лазера 5;
- позиционно-чувствительного целевого знака (ПЧЦЗ) 6, в который входят светофильтр 7, анализатор положения луча 8, фотоприемник 9;
- блока усиления сигналов 10 ПЧЦЗ;
- блока индикации 11 ПЧЦЗ.

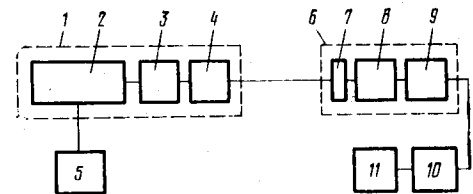


Рис. XVI.1.1. Блок-схема лазерной центрирующей измерительной системы (ЛЦИС):

- 1 — излучатель; 2 — газовый лазер; 3 — модулятор; 4 — коллиматор; 5 — стабилизированный блок питания лазера; 6 — позиционно-чувствительный целевой знак; 7 — светофильтр; 8 — анализатор положения луча; 9 — фотоприемник; 10 — усилитель ПЧЦЗ; 11 — блок индикации.

Назначение излучателя — создание узко направленного ориентированного в пространстве лазерного луча в видимой области спектра. Обычно для этих целей применяют гелий-неоновые лазеры, работающие в одномодовом режиме. Позиционно-чувствительный целевой знак является тем элементом системы, с помощью которого определяется положение объекта по отношению к энергетической оси лазерного луча. В зависимости от поставленной задачи ПЧЦЗ могут быть конструктивно выполнены таким образом, чтобы контролировать две, три, четыре и даже пять координат объекта. Зарегистрированные ПЧЦЗ сигналы поступают в блок усиления или непосредственно на индикаторное устройство с цифровой, стрелочной или другой индикацией, отображающей результат измерения. Рассматриваемая блок-схема является общей. В каждом конкретном случае, в зависимости от принятого метода центрирования, она может быть дополнена специальными блоками.

Лазерные устройства для центрирования объектов непрерывно совершенствуются, расширяется диапазон их функциональных возможностей, повышается точность, стабильность и надежность работы.

Все приборы, устройство и системы, относящиеся к ЛЦИС, можно классифицировать по следующим признакам:

- назначению;
- методу создания реперной оси для центрирования;
- количеству одновременно контролируемых параметров;
- степени активности системы в процессе выполнения ею измерительных функций.

Исходя из областей практического применения ЛЦИС в самолетостроении они предназначаются для

- сборки самолетных конструкций;
- монтажа технологической оснастки и крупногабаритного оборудования;
- стыковки и нивелировки самолетов и других летательных аппаратов;
- разметки осей и вычерчивания линий на плазах, макетах поверхности, обшивках и каркасах планера самолета.

В зависимости от назначения систем изменяется их компоновка, конструктивная архитектура и комплектация специальными вспомогательными устройствами.

ЛАЗЕРНЫЕ КОНТУРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

ЛКИС — система контурного контроля — обеспечивает контроль формы детали обмером ее отдельных сечений.

Для изготовления обшивок, каркасного набора планера самолета нужно огромное количество штампов, пресс-форм, обтяжных пуансонов и прочей заготовительной оснастки. В этой связи создание новых методов и средств бесконтактного контроля и образмеривания объемных конструкций приобретает весьма важное значение. Лазерные контурные измерительные системы открывают перспективу автоматизации контрольных работ в этом

виде производства и позволяют решать проблему увязки размеров деталей сложных объемных форм без создания жестких носителей размеров — шаблонов. Лазерные контурные измерительные системы способствуют распространению методов программного управления в заготовительные цехи самолетостроительных заводов.

В настоящее время создано несколько конструкций ЛКИС, которые применяют для воспроизведения и записи контуров объемных или плоских объектов. Одна из разработанных систем состоит из гелий-неонового лазера ($\lambda = 0,63$ мкм; $N = 0,5$ мВт), оптических компонентов, фотодетектора и поворотного зеркала, с помощью которого производится сканирование лазерного луча и проецирование рассеянного света на приемный фотоэлемент.

Расстояние до контролируемого объекта измеряют путем поддержания определенного размера лазерного пятна, сфокусированного на объекте. Контурная линия может воспроизводиться двухкоординатным самописцем или с помощью аналого-цифрового устройства обрабатываться на ЭЦВМ. Модуляцию светового потока осуществляют диафрагмой, которая перемещается вдоль оптической оси прибора. Возвратно-поступательное движение диафрагмы обеспечивается блоком регистрации и усиления сигнала фотодетектора. В системе применен фазовый метод регистрации измеряемых параметров. Разрешающая способность ЛКИС такого типа порядка 2 мкм. При угле обзора детали $60-85^\circ$ погрешность измерений контура не превышает 200 мкм.

С помощью ЛКИС можно контролировать изготовление обводообразующей оснастки — штампов, пресс-форм, обтяжных пуансонов и пр.

ЛАЗЕРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Весьма перспективно применение в самолетостроении лазерных интерферометров — прецизионных измерителей перемещений. Эти приборы позволяют измерять длины и перемещения объектов в пределах нескольких десятков метров с точностью порядка $10^{-6} \div 10^{-8}$.

Принцип действия лазерных интерферометров основан на автоматическом счете интерференционных полос, которые перемещаются «в поле зрения» прибора при движении отражателя совместно со столом, суппортом или шпинделем станка. При смещении отражателя изменяется разность хода интерферирующих пучков, и через «поле зрения» прибора проходят полосы, число которых связано с измеряемой величиной

$$L = \frac{K\lambda}{2n},$$

где K — число полос;

λ — длина волны гелий-неонового лазера в вакууме;

n — показатель преломления среды (воздуха), в которой производят измерение.

В качестве источника света, как правило, используют гелий-неоновые лазеры с длиной волны

0,6328 мкм. Одним из важных параметров, определяющих точность измерений, является частотная стабильность излучения лазера, то есть стабильность его длины волны. Относительная нестабильность частоты излучения лазера при измерениях с точностью $10^6 \div 10^8$ должна быть не больше этих значений. Стабильность частоты лазера достигается постоянством длины оптического резонатора.

На рис. XVI.1.2 показана принципиальная схема лазерного интерферометра. Пучок лучей, выходящий из лазера 1, расширяется телескопической системой 2 и попадает на светоделительную пластину 3.

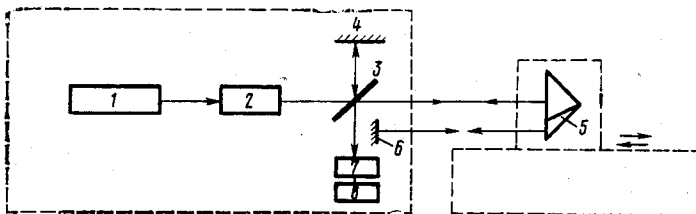


Рис. XVI.1.2. Принципиальная схема лазерного интерферометра: 1 — лазер; 2 — телескопическая система; 3 — светоделительная пластина; 4, 6 — плоские неподвижные зеркала; 5 — уголкового отражатель; 7 — фотоприемный блок; 8 — блок электроники.

ну 3, где расщепляется на два пучка. Один из них отражается от неподвижного плоского зеркала 4, второй проходит подвижный уголкового отражатель 5, установленный на столе станка. Затем луч отражается от неподвижного плоского зеркала 6, вновь проходит отражатель 5 и соединяется с первым лучом на пластине 3. Интерферирующие пучки направляются в фотоприемный блок 7, состоящий из двух фотоприемников, с которых снимают сигналы, отличающиеся по фазе на 90° . Необходимую ширину и наклон интерференционных полос получают поворотом пластины 3 или зеркала 4. В связи с тем, что лазерный луч проходит уголкового отражатель дважды, чувствительность такого интерферометра в два раза выше, так как сдвиг интерференционной картины на одну полосу соответствует перемещению подвижного отражателя на величину, равную четверти длины волны излучения лазера.

В качестве концевых отражателей в лазерных интерферометрах, как правило, используют уголкового отражатели (трипельпризмы). Они имеют три взаимно перпендикулярные отражающие грани и обладают свойством отражать луч света параллельно направлению входа луча. Поэтому при разворотах таких отражателей, вызванных погрешностями направляющих станин станков, по которым их перемещают, практически не изменяются ширина и наклон полос интерференционной картины.

Максимальная допустимая скорость механического перемещения призмы определяется частотной характеристикой фотоэлектрического блока, осуществляющего подсчет интерференционных полос. Обычно фотоэлементы и усилители могут работать до частот порядка 1 МГц, что соответствует скорости линейного перемещения до 18 м/мин. Однако

для устойчивой работы измерительной системы с учетом вибраций станка скорость не должна превышать 6 м/мин.

Точность измерений с помощью интерферометров зависит от точности определения показателя преломления среды, в которой распространяется лазерное излучение. Известно, что показатель преломления n является функцией длины волны λ , температуры T , давления P и влажности e : $n = f(\lambda, T, P, e)$. Колебания относительной влажности воздуха в пределах $f = 40 \div 85\%$ не оказывают существенного влияния на точность измерения, поэтому ими можно пренебречь.

Наиболее существенными параметрами являются температура и давление воздуха, поправки на которые, по отношению к стандартным условиям, автоматически вводятся в блок электроники лазерных интерферометров. Если температура воздуха измеряется с погрешностью $\pm 1^\circ\text{C}$, давление — ± 1 мм рт. ст., а относительная влажность — с погрешностью не более 30%, то значения показателя преломления n можно определить с точностью не выше $\pm 10^{-6}$. В настоящее время лазерные интерферометры снабжают устройствами, которые обеспечивают определение показателя n с точностью порядка 10^{-7} . Таким образом, чем выше требования предъявляются к точности измерений, тем точнее должны быть измерены температура, давление и влажность воздушной среды и введены поправки или стабилизированы эти параметры на достаточно длительное время. Прецизионные измерения с точностью порядка 10^{-7} возможно производить только в термостатированных помещениях.

Первые схемы лазерных интерферометров были основаны на использовании двухлучевого интерферометра Майкельсона с одночастотным стабилизированным лазером. Одним из основных недостатков этой системы является то, что частота сигнала прямо пропорциональна скорости перемещения отражателя, и возможен дрейф нуля прибора. Все это приводит к погрешностям измерений и нестабильной работе системы. Кроме того, подобные приборы весьма чувствительны к изменению мощности светового потока, что ограничивает дальность их действия.

В настоящее время разработаны интерферометры для измерения перемещений с использованием двухчастотного излучения. В Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР создан доплеровский измеритель перемещений ДИП-2 на основе двухчастотного лазера с зеемановским расщеплением частоты. Спектр получаемого сигнала в этом приборе переносится на разностную частоту, что позволяет повысить стабильность и надежность измерений, определить знак перемещений и увеличить разрешающую способность прибора.

ДИП-2 обеспечивает измерение перемещений в пределах 0—60 м с точностью:

без усреднения — $(10^{-7} \div 10^{-8})$ м;
с усреднением — $(10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-9})$ м.

Следует отметить еще одно ценное качество этих приборов — снижение погрешности от температурных деформаций системы станок — инструмент — деталь. В этом случае лазерные интерферометры встраиваются в системы программного управления

станками в качестве датчиков перемещений и компенсируют температурные изменения размеров станка, инструмента и детали автоматическим введением поправок и приведением всех размеров к стандартной температуре 20 °С. Эта особенность лазерных интерферометров успешно используется при обработке точных длинномерных деталей типа лонжеронов, нервюр, монолитных панелей и пр.

Такой подход к решению проблемы взаимозаменяемости каркасных элементов самолета эффективен и позволяет на 70—80% сократить объем подгоночных работ при сборке.

С помощью ЛИП осуществляют: калибровку и аттестацию станков с ЧПУ; контроль координатно-измерительных машин, инструментальных стендов и прочего оборудования.

Глава 2. МОНТАЖ И БЕЗМАКЕТНАЯ УВЯЗКА СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ

Точность воспроизведения аэродинамических форм и размеров самолетов определяется в основном точностью приспособлений, в которых собирают как отдельные узлы, так и агрегаты. Поэтому выбору методов монтажа и контроля сборочных приспособлений уделяют первостепенное внимание.

Под термином «монтаж сборочной оснастки» понимают установку, обеспечение взаимного расположения в пространстве и закрепление конструктивных элементов оснастки в единое целое согласно чертежам.

В связи с тем, что монтаж сборочных приспособлений тесно связан с процессом увязки технологической оснастки, средства увязки в большинстве случаев являются и средствами монтажа.

Для монтажа сборочных приспособлений применяют самые разнообразные средства, выбор которых обуславливается:

— принятым при технологической подготовке производства (ТПП) методом обеспечения взаимозаменяемости (плазово-шаблонный, эталонно-шаблонный и др.);

— конструктивными особенностями приспособлений;

— точностными требованиями, предъявляемыми к изготовлению и расположению фиксирующих и базовых элементов оснастки.

Наиболее эффективными средствами монтажа и контроля сборочных ступеней являются лазерные центрирующие измерительные системы, которые обеспечивают не только высокоточный монтаж, но и увязку ступеней.

УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСКОВ НА СРЕДСТВА МОНТАЖА И КОНТРОЛЯ ОСНАСТКИ

При разработке директивных технологических материалов на постановку производства новых изделий возникают проблемы, связанные с выбором методов контроля геометрических параметров крупногабаритных агрегатов и обеспечения их взаимозаменяемости. На ранних стадиях ТПП еще нет всей необходимой информации для принятия технически и экономически обоснованных решений для схем сборки и средств увязки технологической оснастки. В связи с этим при назначении методов и средств увязки технологической оснастки, обеспечивающих взаимозаменяемость агрегатов, необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.

В основе традиционных методов изготовления и увязки технологической оснастки лежат способы изготовления ее с помощью жестких носителей формы и размеров — шаблонов, макетов, калибров, эталонов и пр. Однако с ростом размеров самолетов и повышением требований к точности воспроизведения геометрических параметров узлов и агрегатов изделий эти носители размерной информации не могут оставаться жесткими и стабильными. Они теряют эти качества и должны быть заменены бесконтактными средствами увязки и координации размеров — лазерными измерительными системами. В связи с этим укажем оптимальные границы применимости жестких носителей, исходя из габаритных размеров макетов и требуемой точности.

Обычно допуск на изготовление макетов-калибров устанавливается в зависимости от допуска на стык или разъем агрегата, заданного чертежом, и составляет 25% от этого допуска.

В тех случаях, когда не допускается переход размеров изделий за границы поля допуска, отношение погрешности измерения к допуску можно принять равным 20%, что практически обеспечивает соблюдение размеров изделий в пределах установленных допусков. Такое же соотношение может быть принято и для большинства контрольных операций при изготовлении планера самолета [1].

Выбор жестких носителей размеров в качестве средств контроля определяется точностью их изготовления. Суммарная погрешность макета-калибра включает:

Δ_1 — погрешность изготовления базовых узлов макета;

Δ_2 — погрешность изготовления стыковых и обводообразующих элементов макета;

Δ_3 — погрешность монтажа базовых, обводообразующих и стыковых узлов макета на его каркасе;

Δ_4 — погрешность, связанную с деформацией макета от собственного веса при его выставлении в стапеле;

Δ_5 — погрешность от разности коэффициентов температурного расширения макета, стапеля и самолетного узла (агрегата).

С увеличением размеров макетов резко возрастают погрешности Δ_3 , Δ_4 и Δ_5 , которые по своей величине могут значительно превышать допустимые отклонения на самолетные конструкции. В этом случае не рекомендуется применять жесткие носители для увязки оснастки.

Пределы допустимых погрешностей изготовления контрольно-макетных средств и оптимальная область их практического применения в самолетостроении

Классы точности при измерении		Размеры оснастки, мм													
отверстий	валов	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600	Св. 1600 до 2000	Св. 2000 до 2500	Св. 2500 до 3150	Св. 3150 до 4000	Св. 4000 до 5000	Св. 5000 до 6300	Св. 6300 до 8000	Св. 8000 до 10 000	Допускаемая погрешность, % от допуска
—	1	±10* ±30**	12 35	14 40	16 45	18 50	19 55	21 60	25 70	30 80	32 90	35 100	38 110	45 130	35
1	2	16 45	18 50	19 55	21 60	23 65	26 75	30 85	35 100	38 100	42 120	49 140	65 160	69 180	35
—	2A	25 70	28 80	31 90	35 100	38 110	42 120	46 130	59 150	60 170	67 190	77 220	91 260	105 300	35
2	—	21 70	24 80	27 90	30 100	33 110	36 120	39 130	45 150	51 170	57 190	66 200	78 260	90 300	30
2A	—	28 110	30 120	32 130	38 150	42 170	45 190	52 210	58 230	65 260	75 300	86 350	110 400	112 450	25
3		35 140	38 150	42 170	50 200	55 220	65 250	70 280	75 300	88 350	100 400	122 450	125 500	150 600	25
3A		56 280	60 300	70 350	80 400	90 450	100 500	110 550	120 600	140 700	160 800	180 900	200 1000	240 1200	20
4		90 450	100 500	110 550	120 600	130 650	150 750	180 900	200 1000	220 1100	240 1200	280 1400	300 1600	350 1800	20
5		180 900	200 1000	220 1100	240 1200	260 1300	300 1500	360 1800	400 2000	440 2200	500 2500	560 2800	640 3200	700 3500	20
7		360 1800	400 2000	440 2200	480 2400	520 2600	600 3000	700 3500	800 4000	900 4500	1000 5000	1100 5500	1300 6500	1400 7000	20
8		560 2800	600 3000	700 3500	800 4000	900 4500	1000 5000	1100 5500	1200 6000	1400 7000	1600 8000	1800 9000	2000 10 500	2400 12 000	20
9		900 4500	1000 5000	1100 5500	1200 6000	1300 6500	1400 7000	1600 8000	1800 9000	2100 10 500	2400 12 000	2800 14 000	3200 16 000	3600 18 000	20
10		1400 7000	1600 8000	1800 9000	2000 10 000	2200 11 000	2400 12 000	2600 13 000	3000 15 000	3400 17 000	3800 19 000	4400 22 000	5200 26 000	6000 30 000	20
11		2200 11 000	2400 12 000	2600 13 000	3000 15 000	3400 17 000	3800 19 000	4200 21 000	4800 23 000	5200 26 000	6000 30 000	7000 35 000	8000 40 000	9000 45 000	20

* Допуск на контрольно-макетную оснастку, мкм.

** Допуск на увязываемую оснастку, мкм.

При выборе средств увязки следует учитывать: класс точности, допуски и габаритные размеры увязываемых разъемов и стыков самолетов, а также технические возможности и современный уровень монтажа стапелей.

В таблице даны рекомендации по выбору средств увязки исходя из размеров оснастки и ее точности. Таблица построена на основании системы допусков машиностроения для размеров свыше 500 до 10 000 мм [2]. В ней приведены допуски на изготовление оснастки и на средства ее увязки в зависимости от класса точности и их размеров.

Согласно этим рекомендациям, область применения контрольно-макетных средств для монтажа и увязки сборочной оснастки ограничена:

- классами точности от 2-го до 5-го;
- размерами увязываемых стыков и разъемов (для классов 2 и 2А — до 1250 мм; для классов 3 и 3А — до 2500 мм; для классов 4 и 5 — до 4000 мм).

Таким образом, если размеры увязываемых мест оснастки превышают указанные в таблице, изготовление жестких носителей размеров нецелесообразно и рекомендуется применять безмакетную увязку с использованием для этих целей лазерных центрирующих измерительных систем.

Макеты-калибры 2-го класса точности подлежат изготовлению на прецизионном металлорежущем оборудовании и должны эксплуатироваться в специальных термостатированных помещениях.

Макеты-калибры 3-го и 5-го классов точности рекомендуется изготовлять на инструментальных станках с использованием для их контроля лазерных измерительных приборов.

МОНТАЖ СТАПЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЛЦИС-3

Монтаж крупногабаритных стапелей для сборки агрегатов рекомендуется производить с помощью ЛЦИС-3. Из нескольких забазированных в пространстве лучей строят координатную систему, относительно которой выставляют или контролируют расположение узлов оснастки. При этом кольцевую ось излучения лазеров принимают за эталон прямолинейности. Выставление узлов на кольцевую ось луча производят с помощью фотоэлектрических позиционно-чувствительных целевых знаков. Отсчет отклонений целевых знаков от кольцевой оси луча осуществляют по двум (x , y) или четырем (x , y , α , β) координатам.

Центрирование объектов по лазерным лучам может осуществляться и без фотоэлектрических ПЧЦЗ. В этом случае с помощью коллиматора в луче создают систему дифракционных колец, на которые ориентируют обычные марки. Отсчет отклонений ведут по индикаторам часового типа с ценой деления 0,01 мм (рис. XVI.2.1).

В комплект ЛЦИС-3 входят:

- два лазерных излучателя, состоящих из гелий-неоновых лазеров и коллиматоров (рис. XVI.2.2);
- фотоэлектрические ПЧЦЗ с блоками индикации, рабочие и базовые (рис. XVI.2.3);

- лазерный дальномерный координатор с пентапризмой для измерения продольных координат;
- специальная оснастка для базирования лазерных излучателей.

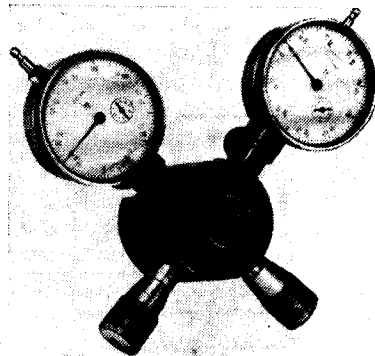


Рис. XVI.2.1. Визуальный знак для регистрации положения лазерного луча по двум координатам (x , y).

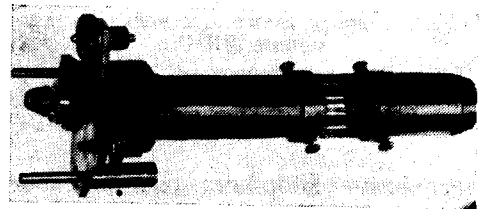


Рис. XVI.2.2. Излучатель ЛЦИС-3 в корпусе для крепления на технологических координатных плоскостях.

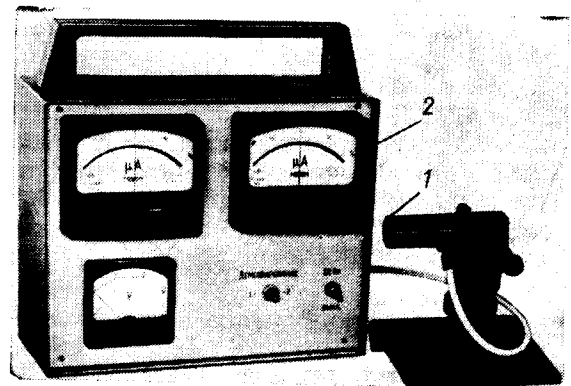


Рис. XVI.2.3. Фотоэлектрический ПЧЦЗ ЛЦИС-3 с блоком индикации:

1 — мишень ПЧЦЗ; 2 — блок индикации ПЧЦЗ.

При проектировании сборочного стапеля конструктор должен разработать монтажную схему стапеля, в которой указываются места базирования лазерных излучателей, расположение реперов и других базовых элементов.

Основные принципы построения крупногабаритных стапелей для сборки неразъемных агрегатов с помощью ЛЦИС-3 заключается в следующем.

Рабочий объем стапеля расчленяется на элементарные прямоугольные объемы, кратные по осям 50; 100; 500 или 1000 мм.

Элементарные прямоугольные объемы ограничивают технологическими координатными плоскостями.

ми (ТКП), из которых одна ТКП, плановая, задается реперными площадками. Две другие ТКП, вертикальные, выполнены в виде плит, координатных линеек и несут систему координатных отверстий для базирования лазерных излучателей (рис. XVI.2.4).

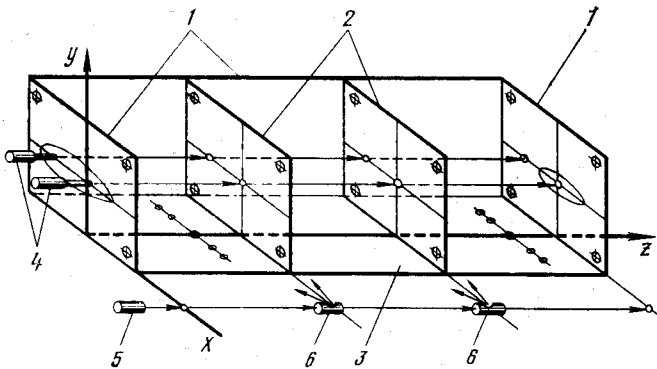


Рис. XVI.2.4. Типовая схема постройки стапеля с помощью ЛЦИС:

1 — ТКП вертикальные торцовые; 2 — ТКП вертикальные промежуточные; 3 — ТКП плановая; 4, 5 — излучатели ЛЦИС; 6 — пентапризма поворотная.

Технологические координатные плоскости могут располагаться автономно, на специальных стойках (рис. XVI.2.5), или встраиваться в стапель и выполнять функции монтажных плит. В любых случаях они должны быть жестко привязаны к реперам плановой ТКП.

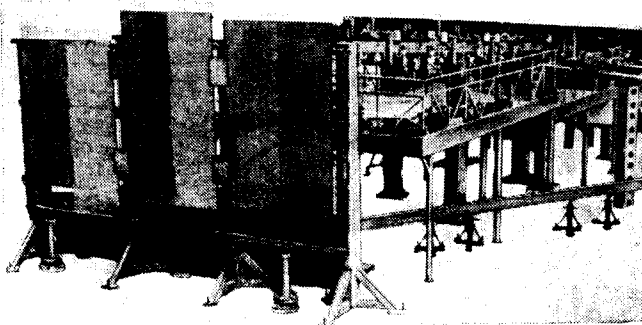


Рис. XVI.2.5. Стапель для сборки крыла широкофюзеляжного самолета, смонтированный с помощью ЛЦИС-3. Вид на ТКП.

В тех случаях, когда вертикальные ТКП расположить по торцам стапеля не представляется возможным, их переносят внутрь стапеля (см. рис. XVI.2.4, п—2).

В качестве баз для построения элементарных прямоугольных объемов следует использовать строительные оси самолета и его отдельных частей — «строительную горизонталь», «строительную вертикаль», «оси шпангоутов», «оси нервюр», «плоскость хорд» и пр.

Элементарный прямоугольный объем рассматривается как область, в которой располагаются конструктивные элементы стапеля, подлежащие монтажу: узлы фиксации деталей, рубильники, ложементы, стапельные плиты и пр.

Все наиболее важные точки, оси и плоскости стапеля, подлежащие увязке между собой, проектируют на ТКП, проекции которых образмеривают и выдают в виде таблиц для монтажа стапеля. Необходимо предусмотреть проход опорных лазерных лучей через рабочий объем стапеля. В случае затенения луча балками или колоннами каркаса стапеля рекомендуется проделать в металлоконструкциях отверстия диаметром не менее 18 мм.

При создании крупногабаритных стапелей следует учесть влияние температурных деформаций на точность оснастки. Для снижения температурных погрешностей необходимо:

- применять материалы с одинаковыми коэффициентами температурного расширения для каркаса стапеля и агрегата;

- ограничивать длину стапельных балок (до 4 м) и создавать между элементами продольную температурную компенсацию, позволяющую расширяться балкам от середины в оба конца;

- создавать по разъемам подвижную фиксацию с учетом температурных удлинений агрегатов.

Обводообразующие элементы стапеля (рубильники, ложементы) следует изготовлять на станках с ЧПУ по программе. Обработку рабочих поверхностей рубильников нужно производить, базируя заготовки на отверстия диаметром 18А, заранее разделанные по кондуктору. Эти же отверстия принимают за базу при выставлении рубильников по опорным лучам ЛЦИС-3 в процессе монтажа стапеля.

Для проверки прямолинейности и «плавности» по процентным рискам обводообразующих элементов оснастки рекомендуется лазерное устройство ЛЦИС-ЗПЛ (рис. XVI.2.6).

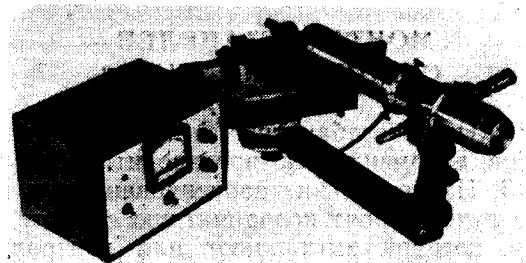


Рис. XVI.2.6. Лазерное устройство ЛЦИС-ЗПЛ для контроля линейчатых поверхностей обводообразующей оснастки.

Итак, для монтажа стапеля с помощью ЛЦИС необходимо разработать специальную монтажную схему, в которой указать расположение лазерных приборов, технологических координатных плоскостей и элементарных прямоугольных объемов.

БЕЗМАКЕТНАЯ УВЯЗКА СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ

Контрольно-макетными средствами осуществляют точную передачу размеров с чертежа изделия на технологическую оснастку. Эту операцию производят в тех случаях, когда требуется высокая точность увязки, которую нельзя обеспечить другими универсальными средствами. Однако крупно-

габаритные макеты обладают недостаточной жесткостью, трудоемки в изготовлении и не могут служить стабильными носителями размеров. В этих случаях увязку сборочной оснастки целесообразно производить безмакетным методом.

Сущность безмакетной увязки заключается в высокоточном перенесении исходных размеров изделия, заданных чертежом, на весь комплект оснастки с помощью построения идентичных монтажных схем из технологических координатных плоскостей и забазирования на них опорных лазерных лучей. Простейшая схема безмакетной увязки разъема хвостовой части крыла с закрылком показана на рис. XVI.2.7.

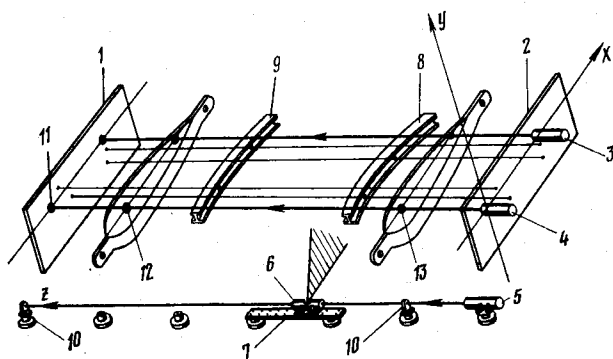


Рис. XVI.2.7. Схема безмакетной увязки сборочных приспособлений с помощью ЛЦИС:

1, 2 — ТКП; 3, 4, 5 — лазерные излучатели; 6 — устройство разворота луча на 90°; 7 — координатная линейка; 8, 9 — узлы, подлежащие увязке; 10, 11, 12, 13 — ПЧЦЗ.

На основе анализа чертежей изделия, технических условий его изготовления, а также номенклатуры сборочной оснастки разрабатывают схему безмакетной увязки, в которой указывают расположение ТКП и опорных лазерных лучей, создающих монтажную схему стапеля. Затем по чертежу агрегата составляют таблицу размеров координатных отверстий всех узлов, подлежащих увязке, спроектированных на две плоскости, принятые в качестве ТКП 1 и 2. ТКП выполняют в виде двух идентичных плит, в которых согласно таблице разделяют на координатно-расточном станке систему отверстий. Базируя лазерные излучатели 3, 4, 5 на отверстия ТКП, создают систему опорных лазерных лучей для увязки расположенных в пространстве узлов сборочных приспособлений. Сопряженные или стыкуемые между собой конструктивные элементы оснастки увязывают перенесением единых технологических координатных плит на все приспособления, входящие в данный комплект.

ТКП выполняют две функции: увязывают оси конструктивных элементов приспособлений при монтаже и обеспечивают идентичное воспроизведение размеров при переносе координат на увязываемую между собой оснастку.

Исходной технической документацией для проектирования ТКП являются: чертежи агрегата (узла); компоновочная и монтажная схемы расположения узлов, подлежащих увязке, и средств, обеспечивающих увязку; общая схема безмакетной увязки стыка, разъема или агрегата.

При разработке схем безмакетной увязки необходимо соблюдать принцип единства строительных, конструктивных и монтажных баз. Увязку комплекта оснастки рекомендуется производить одной парой ТКП. Если по конструктивным соображениям нельзя создать единые ТКП, допускается изготовление нескольких пар ТКП, которые отстыковывают друг от друга.

Иногда ТКП могут быть расположены под различными углами, тогда увязку плит между собой приходится вести через угловые переходники. Конструкция и размеры ТКП определяются: монтажной схемой безмакетной увязки, расположением координатных отверстий на плоскости плиты и конструкцией стапеля.

Материал для ТКП выбирают из соображений температурной компенсации размеров, обеспечения минимальной массы и необходимой жесткости. Конструктивное оформление ТКП может быть самым разнообразным: их можно изготавливать монолитными из листовой стали или алюминиевых плит, облегченными с элементами жесткости, трехслойными с сотовым наполнителем и др.

При безмакетной увязке достигается идентичное построение монтажных схем всех сборочных приспособлений, входящих в данный комплект. Таким методом увязывают расположение: осей вращения элеронов, закрылков, предкрылков, посадочных щитков и пр.; мест разъемов и стыков агрегатов и наиболее важных силовых узлов планера самолета.

Увязку контуров, выходящих на аэродинамические поверхности, осуществляют через шаблоны или с помощью лазерных контурных измерительных систем.

Наибольшая эффективность безмакетной увязки оснастки может быть достигнута только при комплексном решении проблемы, дающей возможность осуществлять бесплазовое производство самолетов на базе широкого применения машинных методов проектирования изделий, ЭВМ и оборудования с программным управлением. С этих позиций сущность безмакетной увязки приобретает новое, более глубокое содержание, охватывающее все стадии технологической подготовки производства.

Глава 3. СБОРКА, СТЫКОВКА И НИВЕЛИРОВКА САМОЛЕТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛЦИС

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СБОРОЧНЫМ ПРОЦЕССАМ

Детали и узлы, из которых собирают самолет, имеют сложную пространственную форму и обла- дают в большинстве случаев малой жесткостью. Установка таких деталей в сборочное положение и соединение их в узлы, панели, секции и агрегаты производится в приспособлениях.

С увеличением размеров агрегатов самолетов снижается точность базирования его отдельных сборочных элементов, усложняется конструкция оснастки. Применение лазерных измерительных систем в сборочных процессах повышает точность и производительность сборки.

Так, сочетание сборки по координатно-фиксирующим отверстиям с базированием деталей на систе- му опорных лазерных лучей в 2—5 раз повышает точность сборочного процесса.

Положение опорных лазерных лучей задается ТКП, которые устанавливают по торцам агрегатов в местах расположения стاپельных плит или базо- вых рубильников (рис. XVI.3.1).

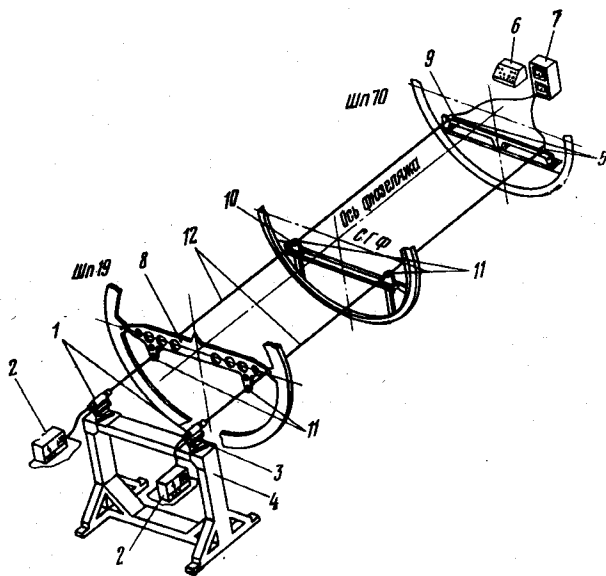


Рис. XVI.3.1. Схема сборки элементов фюзеляжа на базе опорных лазерных лучей:

1 — лазерный излучатель; 2 — стабилизированный блок питания лазера; 3 — кронштейн для ориентации излучателя; 4 — опорная стойка; 5 — базовые ПЧЦЗ; 6 — блок световой индикации положения луча; 7 — блок стрелочной индикации положения луча; 8, 9 — ТКП; 10 — кронштейн для крепления ПЧЦЗ; 11 — рабочие ПЧЦЗ; 12 — опорные лазерные лучи.

Лазерные лучи пронизывают объект сборки, располагаясь параллельно строительным горизон- талям, вертикалям или осям отдельных базовых узлов самолета.

В целях обеспечения единства инструментальных и сборочных баз рекомендуется располагать лучи так, чтобы они являлись одновременно базами для монтажа стапеля и сборки агрегатов.

Основные положения, определяющие метод и порядок сборки агрегатов, — схема базирования узлов, сборочные базы, условия поставки под- сборок и схема увязки положения сборочных и координатно-фиксирующих отверстий под опорные лазерные лучи — должны быть отражены при ра- бочем проектировании самолета.

Конструктор должен разработать:

— схему расположения лазерных лучей в аг- регате;

— схему расположения координатно-фиксирую- щих отверстий в деталях, подлежащих фиксации по лучам;

— размещение устройств для базирования лазер- ных излучателей.

В директивном технологическом процессе на сборку агрегата должны быть указаны:

— способ задания координатных отверстий в де- талях;

— схема увязки координатных отверстий в тех- нологической оснастке;

— технологический процесс сборки и способы выставления деталей по лучу, перемещения их в сборочные положения, закрепления и контроля.

В результате создания в пространстве опорной координатной системы из видимых лазерных лучей по-новому решается вопрос базирования деталей при сборке, снижается до минимума влияние на точность сборки таких факторов, как недостаточ- ная жесткость каркасов оснастки, деформирование оснастки от массы собираемых деталей агрегатов и массы сборщиков, температурные деформации конструкций оснастки и агрегатов.

В процессе сборки по опорным лазерным лучам производится непрерывный активный контроль расположения собираемых деталей и при необхо- димости подстройка сборочного процесса, что сни- жает процент брака. В обычных сборочных про- цессах неточность в расположении базовых дета- лей выявляется, как правило, при стыковке аг- регатов, и исправление этого брака оказывается уже невозможным.

Метод сборки на базе опорных лазерных лучей может быть эффективно применен как в опытно- м, так и в серийном производстве при сборке наи- более ответственных конструктивных элементов.

Для сборки по лазерным лучам рекомендуется применять ЛЦИС-2.

Эта система включает следующие элементы:

— лазерные излучатели (рис. XVI.3.2);

— комплект специальных целевых знаков с бло- ками световой индикации;

— установочные и крепежные элементы для вы- ставления приборов и их ориентации относительно базовых осей стапеля.

Лазерный излучатель размещен в специальном корпусе и крепится на регулировочном кронштейне, обеспечивающем перемещение лазера по шести координатам.

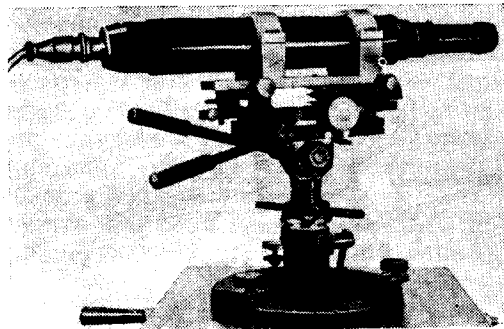


Рис. XVI.3.2. Лазерный излучатель ЛЦИС-2.

Опорные лазерные лучи базируют на визуальные или фотоэлектрические целевые знаки, которые располагают на ТКП (рис. XVI.3.3 и XVI.3.4).

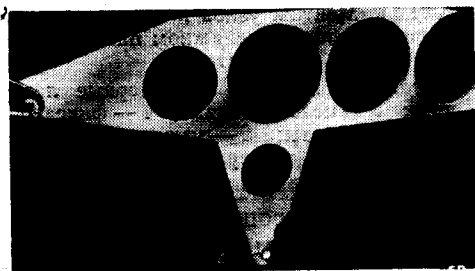


Рис. XVI.3.3. Крепление ТКП с базовыми целевыми знаками на плите разъема стапеля:

1 — ТКП; 2 — базовый целевой знак для ориентации лазерного луча.

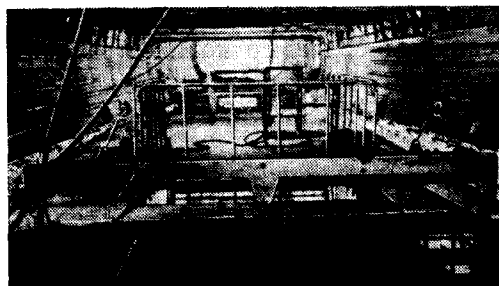


Рис. XVI.3.4. Пример создания базы для крепления целевых знаков ЛЦИС внутри агрегата:

1 — ТКП; 2 — базовые ПЧЦЗ.

Для устранения погрешностей системы от вибраций, связанных с клепальными работами на стапеле, лазерные излучатели располагают на специальных стойках вне стапеля.

При проектировании планера самолета конструктор должен предусмотреть возможность прохождения лазерных лучей внутри агрегатов по их

строительным осям, что упростит в дальнейшем задачу выставления агрегата в «полетное положение» и обеспечит надежный контроль его формы и размеров. Отверстия диаметром 18 мм для прохождения опорных лучей в герметичных отсеках впоследствии заделывают пробками.

На рис. XVI.3.5—XVI.3.8 представлены типовые схемы сборки, иллюстрирующие возможности сборочного процесса на базе опорных лазерных лучей. Во всех многочисленных случаях контроля соосно-

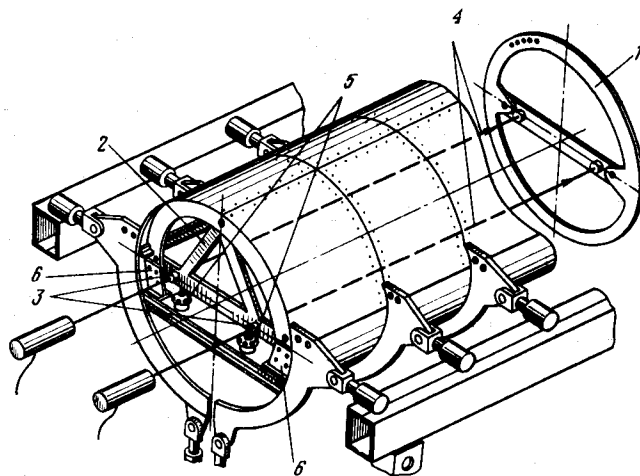


Рис. XVI.3.5. Стыковка верхней части фюзеляжа с нижней секцией на базе опорных лазерных лучей:

1 — ТКП; 2 — формодержатель технологический; 3 — целевые знаки; 4 — опорные лазерные лучи; 5 — регулируемые опоры; 6 — стыковочные элементы.

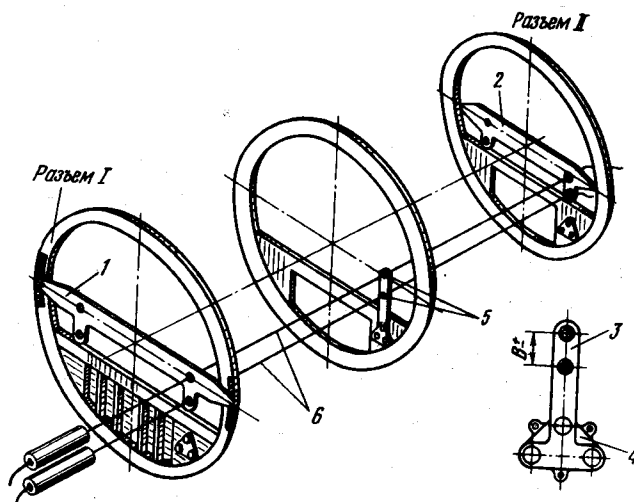


Рис. XVI.3.6. Монтаж по опорным лучам узлов управления самолетом:

1, 2 — ТКП по разъемам I и II фюзеляжа; 3 — переходник, установленный в отверстия направляющего кронштейна тяги; 4 — направляющий кронштейн под тяги управления; 5 — целевой знак; 6 — опорный лазерный луч.

сти отверстий и узлов вращения с помощью ЛЦИС-2 рекомендуется применять контроль установки узлов вращения механизации крыла и рулей, узлов управления самолетом, соосности петель крышек обтекателей, мотогондол и пр.

На базе опорных лазерных лучей рекомендуется производить сборку пола в пассажирских салонах, установку рельсов под крепления кресел, монтаж

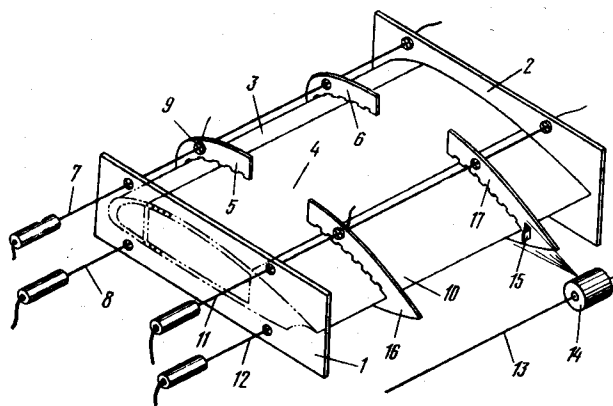


Рис. XVI.3.7. Схема стыковки кессонной части крыла с носовой и хвостовой:

1, 2 — ТКП; 3 — носовая часть СЧК; 4 — кессонная часть СЧК; 5, 6, 16, 17 — шаблоны; 7, 8, 11, 12, 13 — лазерные опорные лучи; 9 — ПЧЦЗ; 10 — хвостовая часть СЧК; 14 — устройство для разворота луча; 15 — однокоординатный ПЧЦЗ.

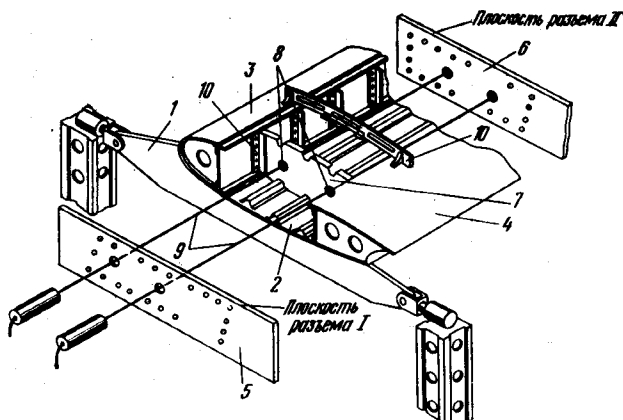


Рис. XVI.3.8. Схема сборки и контроля расположения каркасного набора крыла на базе опорных лазерных лучей:

1 — ложементы стапеля; 2 — нижняя панель; 3 — носовая часть крыла; 4 — хвостовая часть крыла; 5, 6 — ТКП; 7 — нервяры кессонной части крыла; 8 — целевые знаки; 9 — лазерные лучи; 10 — формодержатель.

узлов навески элементов интерьера в широкофюзеляжных пассажирских самолетах (рис. XVI.3.9).

Новый процесс сборки обладает следующими особенностями:

- увязка расположения деталей в агрегатах и увязка элементов сборочной оснастки осуществляется с единой базы по лазерным лучам;

- разделку координатно-фиксирующих отверстий производят по кондукторам, которые выставляют по лазерным лучам, что повышает точность расположения деталей;

- точное выставление агрегатов в «полетное положение» достигается введением технологических баз, в результате чего наружные нивелировочные

точки переносятся внутрь агрегата, что весьма важно для монтажа специального оборудования и систем управления самолетом.

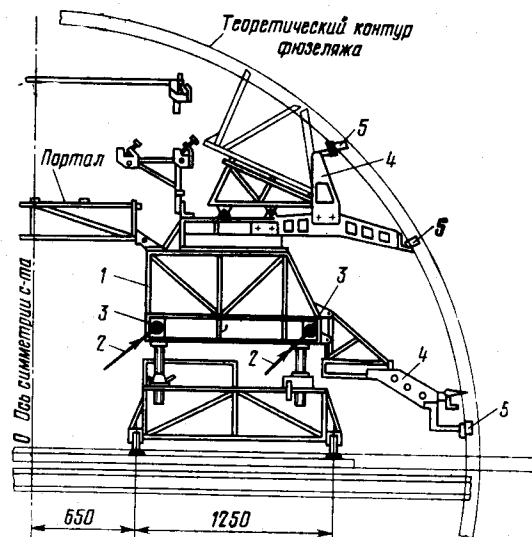


Рис. XVI.3.9. Монтаж узлов навески элементов интерьера в широкофюзеляжном пассажирском самолете:

1 — монтажная кассета; 2 — опорные лазерные лучи; 3 — целевые знаки; 4 — фиксаторы монтажной кассеты; 5 — узлы навески интерьера.

Внедрение данного процесса в производство значительно сокращает цикл и затраты на подготовку производства за счет:

- уменьшения количества сборочной оснастки, которая конструктивно упрощается, превращаясь в регулируемые универсальные сборочные стенды, при этом большая часть сборочных работ может выполняться без оснастки на внестапельных участках;

- снижения металлоемкости стапелей в результате замены громоздких каркасных элементов стапелей на более простые;

- сокращения большого количества контрольно-макетных средств благодаря применению безмакетных методов увязки сборочной оснастки по лучам лазерной системы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗМЕТКЕ СБОРОЧНЫХ БАЗ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ

В настоящее время определились две области, в которых могут быть использованы лазерные средства разметки:

- разметка плазово-шаблонной и объемной оснастки;

- разметка и увязка базовых осей на агрегатах самолетов в целях создания дополнительных сборочных баз для внестапельной сборки и стыковки отсеков летательных аппаратов.

Разметку можно производить ручным или автоматическим сканированием лазерного луча, а также созданием ориентированных в пространстве (горизонтальных или вертикальных) световых плоскостей. В первом случае разметка осущест-

вляется ручными или автоматическими лазерными сканаторами и лазерными координатными построителями с программным управлением, во втором — с помощью специальных цилиндрических линз формируют из лазерного луча световую плоскость, простирающуюся на несколько метров и дающую в пересечении с объектом линии батасов, дистанций, строительных вертикалей и горизонталей.

Для сокращения цикла стапельной сборки и упрощения сборочной оснастки рекомендуется внутри агрегатов задавать базовые оси, относительно которых производят установку конструктивных элементов на внестапелном участке.

В качестве примера на рис. XVI.3.10 приведена схема разметки осей строительной горизонтали и

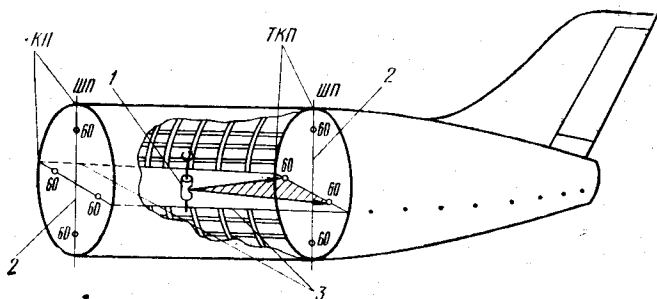


Рис. XVI.3.10. Разметка осей строительной горизонтали и вертикали внутри фюзеляжа:

1 — лазерное сканирующее устройство с пентапризмой; 2 — строительная вертикаль фюзеляжа; 3 — линии строительной горизонтали, размеченные лазерным лучом.

вертикали внутри фюзеляжа. Разметка производится с помощью лазерного сканирующего устройства, конструкция которого показана на рис. XVI.3.11.

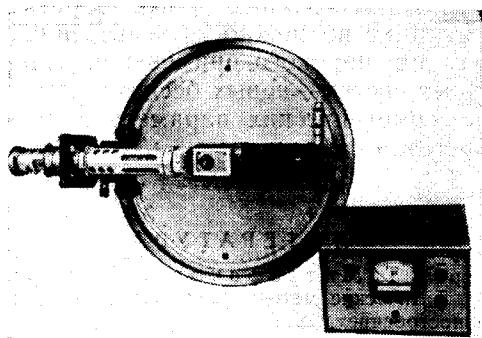


Рис. XVI.3.11. Лазерное сканирующее устройство для разметки и увязки базовых осей.

Ориентацию и настройку лазерных сканирующих устройств производят по трем заданным в пространстве точкам, создающим базовую плоскость. Эти точки могут располагаться в виде базовых отверстий на двух ТКП. В качестве ТКП могут быть использованы силовые шпангоуты, в которых необходимо предусмотреть базовые отверстия, лежащие на строительных осях. Это значительно упрощает разметку и повышает ее точность.

При разметке объектов наносить линии можно или ориентацией на лазерный луч специальной линейкой, по которой прочерчивают тушью линии, или нанесением отдельных точек, которые впоследствии соединяют между собой.

Возможен также метод непосредственного расчерчивания линий лазерным лучом. Для этих целей на объект необходимо наносить покрытие, проявляющееся при воздействии излучения с длиной волны $\lambda = 0,63$ мкм.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СТЫКОВКЕ И НИВЕЛИРОВКЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛЦИС

С увеличением скоростей летательных аппаратов возросли требования к точности взаимного расположения их отдельных конструктивных элементов, определяющих геометрические параметры и нивелировочные данные изделий. При проектировании самолетов конструктор задает большое количество

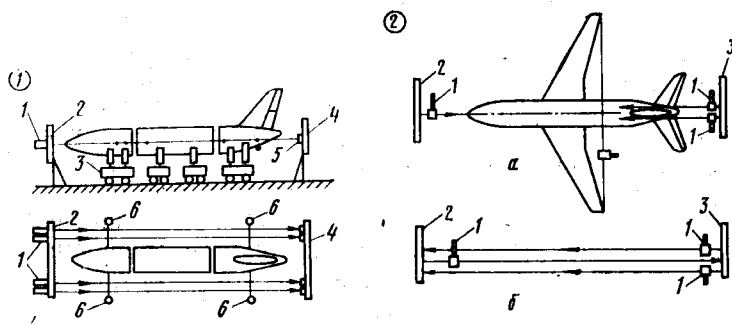


Рис. XVI.3.12. Стыковка отсеков фюзеляжа по опорным лучам ЛЦИС с базой на ТКП:

1 — лазеры; 2, 4 — ТКП; 3 — стыковочные тележки; 5 — ПЧЦЗ базовые; 6 — реперные манипуляторы.

Рис. XVI.3.13. Проверка оси симметрии самолета и вертикального положения киля с помощью ЛЦИС:

а — схема проверки самолета; б — схема настройки ЛЦИС; 1 — лазерные излучатели с пентапризмами; 2, 3 — ТКП.

базовых точек, которые обеспечивают в процессе стыковки самолета необходимое расположение агрегатов в однозначном «полетном положении». Однако размеры проверяемого самолета относительно базовых точек находятся в прямой зависимости от точности изготовления того или иного агрегата и, следовательно, искажают истинные нивелировочные данные.

В связи с этим стыковка и нивелировка самолета по системе базовых лучей, строго ориентированных в пространстве, повышает точность контроля расположения агрегатов. Особенно эти преимущества проявляются при стыковке агрега-

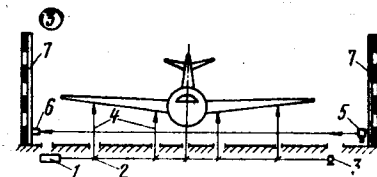


Рис. XVI.3.14. Проверка расположения реперных точек в плановой проекции самолета с помощью системы световодов и ЛЦИС:

1 — лазерный излучатель; 2 — пентапризма с клином; 3 — базовый ПЧЦЗ; 4 — вертикальные лучи; 5 — лазерное сканирующее устройство; 6 — ПЧЦЗ; 7 — координатные линейки.

тов тяжелых типов самолетов. ЛЦИС позволяет проконтролировать не только расположение реперных точек, но и базовых осей, нанесенных на агрегатах.

В качестве нивелировочных средств используют излучатели ЛЦИС, которые ориентируют в вертикальные или горизонтальные положения базированием приборов на отверстия ТКП, координатные мерные линейки или стойки. Лазерное излучение сканируют пентапризмой, позволяющей создать в пространстве световую плоскость, относительно которой выверяют расположение нивелировочных баз агрегатов. В качестве целевых знаков используют визуальные марки или фотоэлектрические ПЧЦЗ.

На рис. XVI.3.12—XVI.3.14 приведены типовые схемы стыковки, рекомендуемые для тяжелых типов самолетов.

Стыковка отсеков фюзеляжа по опорным лучам ЛЦИС с базой на ТКП

Для стыковки отсеков фюзеляжа (см. рис. XVI.3.12) создают горизонтальную базу для нескольких опорных лучей ЛЦИС. Лазерные излучатели 1 базируют на отверстия ТКП 2, 4, заранее установленные в единой горизонтальной плоскости. Используя реперный манипулятор 6, выставляют отсеки на стыковочных тележках 3 до совмещения строительной горизонтали фюзеляжа с опорными лазерными лучами ЛЦИС. После этого соединяют секции в единый агрегат.

Выставление агрегатов в «полетное положение» может быть обеспечено применением лазерных устройств с автоматической ориентацией лазерных лучей в горизонтальное или вертикальное положение.

Проверка оси симметрии самолета и вертикального положения киля с помощью ЛЦИС

Обычно в нивелировочных схемах самолетов положение киля задают реперными точками относительно строительной вертикальной плоскости самолета (фюзеляжа), поэтому перед проверкой киля с помощью ЛЦИС фюзеляж должен быть выставлен в «полетное положение» (см. рис. XVI.3.13).

Проверку осуществляют с помощью трех лазерных излучателей 1 с пентапризмами, из которых один служит для контроля оси симметрии самолета, а два других, эквидистантно отстоящих от вертикальной плоскости, обеспечивают контроль вертикального положения киля. Положение лазерных излучателей и световых плоскостей, образуемых вращением пентапризмы, определяется отверстиями ТКП. В процессе работы контролируют положение световых плоскостей по базовым точкам ТКП и при необходимости дополнительно настраивают приборы.

Проверка расположения реперных точек в плановой проекции самолета с помощью системы световодов и ЛЦИС

Нивелировка самолета дает возможность проверить только высотные положения реперных точек, что не гарантирует правильного расположения агрегатов при стыковке. Для точного расположения агрегатов рекомендуется производить контроль реперных точек в плановой проекции самолета.

На рис. XVI.3.14 показана схема проверки реперных точек, согласно которой в системе предусмотрены световоды, размещенные по строительным осям в плановой проекции самолета с перпендикулярными этой плоскости выводами лазерных лучей в местах расположения реперных точек.

Стыковку агрегатов начинают с фюзеляжа, который выставляют в горизонтальное положение на гидравлических подъемниках, так чтобы лазерные лучи, идущие снизу, попадали на реперные площадки. С помощью блоков индикации ПЧЦЗ добиваются наиболее точного расположения агрегатов относительно базовых осей плановой проекции самолета.

Высотное положение реперных точек контролируют нивелировкой относительно горизонтальной лазерной плоскости или с помощью специальных мерных штанг, которые по лазерным лучам выставляют перпендикулярно плановой проекции самолета.

Итак, лазерные измерительные системы — это большой комплекс приборов и устройств, которые позволяют производить бесконтактный контроль геометрических параметров изделий на всех стадиях изготовления самолета, начиная с технологической подготовки производства, изготовления оснастки и кончая контролем размеров самолетов при их выходе на летные испытания.

Изложенные рекомендации позволяют конструктору учесть при создании новых образцов авиационной техники возможности повышения качества изделий путем широкого применения лазерных измерительных систем — новых бесконтактных средств контроля геометрических параметров деталей, узлов и агрегатов самолетов.

ЛИТЕРАТУРА

- Вагнер Е. Т., Митрофанов А. Р., Барков В. Н. Лазерные и оптические методы контроля в самолетостроении. М., «Машиностроение», 1977.
- Справочник по производственному контролю в машиностроении. Л., «Машиностроение», 1974.
- Вагнер Е. Т. Моделирование и воспроизведение объемной размерной информации в самолетостроении. — «Авиационная промышленность», 1973, № 8.
- Вагнер Е. Т. Лазерные интерферометры — средство повышения точности обработки деталей на станках с ЧПУ. — «Авиационная промышленность», 1976, № 2.
- Ищенко Е. Ф., Климов Ю. М. Оптические квантовые генераторы. М., «Советское радио», 1968.
- ОСТ 1.51697—73÷ОСТ 1.51726—73. «Средства контроля и монтажа сборочной оснастки. Конструкция и размеры».
- Вагнер Е. Т. Лазеры в самолетостроении. М., «Машиностроение», 1982.

ВВЕДЕНИЕ

Надежный и объективный контроль на всех технологических этапах изготовления самолета является необходимым условием для обеспечения взаимозаменяемости и высокого качества деталей, узлов, агрегатов.

Наиболее технологичным нужно считать те детали, узлы и агрегаты самолета, конструкции которых при прочих равных условиях позволяют наиболее просто и с минимальными затратами произвести необходимые измерения.

Рекомендации позволят конструкторам ориентироваться в выборе методов и средств контроля геометрических параметров деталей, узлов и агрегатов самолета, а также использовать некоторые указания по технологичности при разработке той или иной конструкции.

В главе 1 «Основные средства и методы контроля» даются общие рекомендации по рациональному, с точки зрения измерительной техники, конструированию детали, то есть рекомендации по простановке размеров на чертеже, а также разъяснения по выбору методов и средств контроля в зависимости от погрешности изготовления и измерения в соответствии с требованиями ГОСТ 8.051—81 на различных технологических этапах производства.

Глава 2 «Контроль крупногабаритных деталей» содержит общие соображения по контролю геометрических параметров панелей, обшивок, а также рекомендации по измерению диаметров тел враще-

ния, обрабатываемых на токарных и карусельных станках, методы и средства контроля для длинных деталей типа вала и цилиндра при круглом шлифовании, характерные для самолетостроения.

В главе 3 «Методы и средства контроля геометрических параметров узлов и агрегатов планера самолета» рассматриваются поэлементно основные контролируемые параметры и контрольно-измерительные средства с указанием их предельных погрешностей.

В главе 4 «Методы и средства контроля расположения поверхностей» указываются основные погрешности, относящиеся к расположению поверхностей, погрешности методов контроля и рекомендации по использованию средств контроля.

В главе 5 «Трехкоординатные измерительные машины» впервые для предприятий отрасли рекомендуются устройства, обеспечивающие в пространственной системе координат X , Y и Z измерение (фиксацию) точки измеряемого объекта, начиная с проектирования и изготовления, так как многие из предприятий отрасли закупили эти машины у зарубежных фирм.

В главе 6 «Методы и средства контроля шероховатости поверхности» даны рекомендации по применению современных методов и средств контроля на предприятиях отрасли. Помимо рекомендуемых средств контроля отечественного производства, предлагаются приборы зарубежных фирм.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Средства производственного контроля должны гарантировать оценку выполнения требований, предъявляемых к изделиям. Для этого они должны обладать необходимой точностью, производительностью и быть увязаны с технологическим процессом изготовления изделий. Для правильного выбора средств контроля первым условием является рациональное, с точки зрения измерительной техники, конструирование деталей. Под этим следует подразумевать такую конструкцию деталей и такой способ простановки размеров, при которых все необходимые измерения могут быть произведены наиболее эффективно.

Для обеспечения этого должны быть выполнены следующие требования:

1. Чертеж должен содержать минимальное, но достаточное для изготовления детали количество размеров.

2. Размеры в чертежах должны определять те отправные плоскости — базы, на которые необходимо ориентироваться при обработке и измерении детали; при этом желательно совмещение технологических и измерительных баз.

3. Размеры и базы должны быть согласованы в обоих сопрягаемых деталях.

4. Размеры в чертеже должны ориентировочно предопределять измерительный инструмент, кото-

рым будут пользоваться в процессе изготовления детали.

В качестве примера рассмотрим простановку размеров на расстоянии между осями отверстий. В этом случае может быть три варианта простановки размеров (рис. XVII.1.1):

1. Цепочкой (I—I).
2. Лесенкой от двух баз A и B (II—II).
3. Лесенкой от одной базы A (III—III).

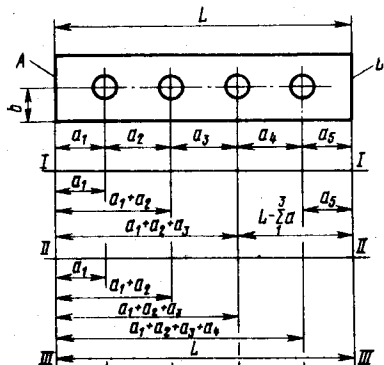


Рис. XVII.1.1. Варианты простановки размеров на расстоянии между осями отверстий.

Простановка размеров цепочкой требует назначения уменьшенных допусков на отдельные размеры, так как в наиболее неблагоприятных случаях погрешности могут суммироваться. При меньших значениях допусков следует применять более точные средства контроля. Кроме того, при такой простановке размеров, когда на каждую ступень указаны допуски, суммарный размер должен быть дан без допуска. Простановка допуска на суммарный размер может послужить причиной брака.

Например, если начать обработку с отверстия 3 (рис. XVII.1.2), что при такой простановке размеров вполне возможно, то расположение отверстий 1 и 2 окажется зависимым от уже полученного расположения отверстия 3. Если отверстие 3 будет

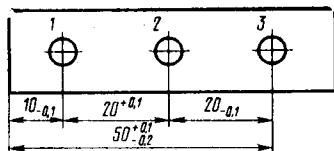


Рис. XVII.1.2. Пример неправильной простановки размеров на расстоянии между центрами отверстий.

расположено по наименьшему предельному размеру (49,8 мм), а отверстия 1 и 2 — по наибольшему (10 и 20,1 мм), то отверстие 2 будет удалено от отверстия 3 на размер, равный $49,8 - 30,1 = 19,7$ мм, то есть допуск на его расположение будет не выдержан и деталь будет забракована.

Следовательно, простановка размеров цепочкой допустима только в тех случаях, когда положение отверстий не имеет существенного значения для узла, например, в случае расположения отверстий под заклепки.

Если задавать размеры лесенкой от двух баз (см. сечение II—II на рис. XVII.1.1), то при обработке изделия необходимо устанавливать его дважды, а измерение производить также от двух баз.

Наиболее рациональным является простановка размеров лесенкой от одной базы. В этом случае при простановке размеров на чертежах следует стремиться задавать их от одной или от двух взаимно перпендикулярных поверхностей, причем желательно, чтобы эти поверхности обеспечивали надежное крепление изделия.

Задача назначения рациональных допусков на изготовление объекта производства должна решаться, как правило, индивидуально.

Чаще всего требуется рассчитать допуски на составляющие звенья размерной цепи. Этот расчет выполняется при конструировании объектов производства.

К проектным методам расчета допусков на составляющие звенья можно отнести [9]:

а) **способ попыток**, заключающийся в том, что допуски на составляющие звенья задаются на основе производственного опыта, в результате чего определяются допуски на замыкающее звено, величины которых сравниваются с заданными и в случае их несоответствия вновь перерасчитываются;

б) **способ равного качества точности**, при котором на все составляющие звенья размерной цепи назначаются допуски одного качества точности, устанавливаемого на основании величины допуска замыкающего звена, количества составляющих звеньев и их номинальных размеров, то есть по аналогии с функциональной зависимостью величины допуска от номинального размера, применяемой для допусков на диаметральные размеры;

в) **способ равного влияния**, при котором допуск на каждое составляющее звено должен вызывать (с учетом влияния передаточного отношения и коэффициента относительного рассеивания) одинаковую погрешность в замыкающем звене;

г) **способ равного поля допуска**, при котором поля допусков всех составляющих звеньев, входящих в данную размерную цепь, равны между собой;

д) **способ экономического обоснования допусков**, при котором допуск на составляющие звенья при заданном допуске на замыкающее звено назначается из условия минимальных затрат, связанных с изготовлением объекта.

При проведении расчетов, связанных с назначением допусков на составляющие и замыкающие звенья, конструктору необходимо руководствоваться положениями, изложенными в:

— ГОСТ 16319—80. Цепи размерные. Основные положения. Термины, обозначения и определения;
— ГОСТ 16320—80. Цепи размерные. Расчет плоских цепей;

— ГОСТ 19415—74. Цепи размерные. Методы расчета коэффициентов относительной асимметрии и относительного рассеивания замыкающих звеньев;

— ГОСТ 19416—74. Цепи размерные. Методы корректировки допусков по результатам анализа точности технологических процессов.

Точность метода контроля выбирается в зависимости от допусков на контролируемые размеры изделия. Недостаточная точность средств контроля приводит к большим погрешностям измерений, что является следствием фактического уменьшения допуска на изделие. Соотношения между погрешностью метода контроля и допуском рекомендует-

ся назначать от 1:10 до 1:5 в зависимости от качества точности контролируемого параметра детали; такое соотношение практически обеспечивает выполнение изделий в пределах установленных допусков. Следует иметь в виду, что под погрешностью измерения следует понимать суммарные погрешности метода. Метод измерения определяется совокупностью используемых средств и условий измерения. Следовательно, в суммарную погрешность измерения входят не только погрешности собственно прибора, но и погрешности меры, по которой настраивается прибор, погрешности температурного режима при измерении, погрешности от базирования измеряемого изделия, погрешности, вызываемые измерительным усилием и рядом других факторов.

Допускаемые погрешности измерения линейных размеров до 500 мм при приемочном контроле регламентируются ГОСТ 8.051—81 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм» (соответствует стандарту СТ СЭВ 303—76), определяющим допускаемую погрешность измерения линейных размеров с допусками, соответствующими стандарту СТ СЭВ 145—75 «Единая система допусков и посадок СЭВ. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений».

В ГОСТ 8.051—81 установлены:

- значения допускаемых погрешностей измерений;
- приемочные границы с учетом допускаемых погрешностей измерений.

Указанный стандарт не определяет допускаемые погрешности измерения размеров, установленные другими государственными стандартами, и размеров с неуказанными предельными отклонениями.

Установленные в ГОСТ 8.051—81 величины погрешностей измерений являются наибольшими допускаемыми погрешностями измерений и установлены для значений допусков, которые содержатся в различных качествах точности и посадках отечественной системы, а также в качествах системы СЭВ.

Допускаемые погрешности измерения, установленные стандартом, охватывают не только погрешности измерительных средств, но и составляющие погрешности, связанные с проведением контроля (установочные меры, базирование, температурные погрешности и другие факторы).

Допускаемые погрешности измерения относятся к случайным и неучтенным систематическим погрешностям измерения. Случайная составляющая погрешности не должна превышать 0,6 допускаемой погрешности измерения.

Допускаемые значения случайной погрешности измерения, установленные в ГОСТ 8.051—81, приняты при доверительной вероятности 0,954, исходя из предположения, что случайная погрешность распределяется по нормальному закону, то есть принимаются равными 2σ .

Допускаемые погрешности измерения нормируются вне зависимости от способа измерения диаметров и длин при приемочном контроле.

Погрешности измерения, приведенные в ГОСТ 8.051—81, являются наибольшими значениями, которые допускаются использовать при измерении.

Однако стандартом предусмотрены два случая, когда эти предельные значения могут быть увеличены.

В первом случае разрешается увеличить предельную погрешность измерения, уменьшив при этом приемочный допуск. Это позволяет применять простейшие измерительные средства (например, штангенциркули, обладающие большой абсолютной, но малой относительной погрешностью).

Второй случай возможен, если измерения выполняются с разделением годных деталей на размерные группы для селективной сборки.

Приемочные границы, то есть значения размеров, по которым производится приемка готовых деталей, устанавливаются с учетом влияния допускаемой погрешности измерения. При назначении допуска на изготовление необходимо учитывать не только эксплуатационные условия работы и возможности технологического процесса обработки (с позиций точности), но и возможные погрешности измерения.

Таким образом, величина допуска рассматривается как допуск на сумму погрешностей технологического процесса.

Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки рассмотрено в приложении 2 к ГОСТ 8.051—81, где представлены графики, позволяющие определять вероятное количество неправильно принимаемых m и неправильно бракуемых n деталей, а также выход c/IT за границу допуска размера у неправильно принимаемых деталей.

В ГОСТе приведены также в таблице возможные предельные значения указанных выше параметров, соответствующие экстремальным значениям кривых на черт. 1—3.

Стандарт предусматривает два возможных способа установления приемочных границ с учетом погрешности измерения, то есть предельных отклонений размера, по которым принимается деталь: выбором соответствующего качества и введением производственного допуска.

При первом способе приемочные границы устанавливаются совпадающими с предельными размерами контролируемого объекта, то есть конструктор в соответствии с таблицей стандарта (см. стр. 3) устанавливает для заданного размера объекта и соответствующего ему допуска IT допускаемую погрешность измерения 2σ и в соответствии со справочной таблицей приложения 2 устанавливает относительную погрешность измерения (коэффициент точности метода измерения) $A_{мет(σ)}$ из условия:

$$A_{мет(σ)} = [(σ/IT) \cdot 100],$$

где $σ$ — среднее квадратическое отклонение погрешности измерения;

IT — допуск на контролируемый размер.

На основании установленной величины $A_{мет(σ)}$ согласно графикам черт. 1—3 (стр. 9) определяют при неизвестной точности технологического процесса искомые параметры m (число деталей в процентах от общего числа измеренных, имеющих размеры, выходящие за предельные и принятые в число годных, то есть неправильно принятые) и c (вероятностная величина выхода размера, предельная у неправильно принятых деталей).

В случае, если известна систематическая погрешность измерения, необходимо использовать значение $A_{\text{мет}}(\sigma)$ согласно формулам (7) и (8) справочного приложения 2.

Если полученные данные не повлияют на эксплуатационные показатели объекта, то на чертеже указывают первоначально выбранный квалитет или другое поле допуска в этом квалитете.

При втором способе, то есть с введением производственного допуска, приемочные границы смещают внутрь относительно предельных размеров, в результате чего допуск уменьшается.

При введении производственного допуска значение смещения не должно превышать половины устанавливаемой стандартом допускаемой погрешности измерения у каждой приемочной границы.

При введении производственного допуска могут быть два возможных варианта в зависимости от того, известна или неизвестна точность технологического процесса.

Если точность технологического процесса неизвестна (вариант 1), то в соответствии с п. 2.2 стандарта предельные размеры изменяются на половину допускаемой погрешности измерения.

Если же точность технологического процесса известна (вариант 2), то предельные размеры уменьшают на значение параметра s (согласно справочному приложению 2), на основании чего корректируется допуск на размер объекта.

В стандарте нормированы требования к арбитражной перепроверке принятых деталей, при которой предусматривается выявление погрешности измерения. Арбитражная перепроверка принятых деталей должна осуществляться с погрешностью измерения, не превышающей 30% допускаемой при приемке. Среди принятых допускается наличие до 5% деталей от перепроверяемой партии с отклонениями, выходящими за приемочные границы на значение, не превышающее половину допускаемой погрешности измерения при приемке, для квалитетов со 2-го по 7-й; рядов пределов допускаемых погрешностей измерения с 1-го до 6-го (см. обязательное приложение 1 стандарта); до 4% для квалитетов 8, 9 или для 7 и 8; 3% — для квалитетов 10 и грубее или для ряда 9 и грубее.

Для проведения измерений с погрешностями, не превышающими допускаемые ГОСТ 8.051—81 значения, необходимо иметь сведения о значениях погрешностей измерительных средств в различных условиях их применения.

Сведения о погрешностях измерения измерительными средствами, серийно выпускаемыми специализированными предприятиями, представлены в РТМ 1.4.331—77 «Выбор универсальных средств измерения линейных размеров от 1 до 500 мм» (НИАТ).

В разработанных РТМ были использованы два принципиальных положения:

— измерительным средством одного вида можно выполнять измерения с различной погрешностью в зависимости от метода и условий проведения;

— для выбора измерительных средств и условий проведения измерения необходимо оценивать возможные пределы погрешности измерения.

Допустимую погрешность измерительного средства следует рассматривать как погрешность изме-

рения при одном из возможных вариантов использования этого измерительного средства, так как проверка точностных данных применяемого средства заключается в большинстве случаев в измерении им образцовой меры. В этом случае на погрешность измерения влияет только случайная составляющая погрешности измерительного средства.

Установочные меры могут быть универсальными (концевые меры длины) и специальными, изготовленными по виду измеряемой детали (конструкции, массе, материалу, физическим свойствам, способу базирования и др.).

Погрешности от концевых мер длины возникают из-за погрешности их изготовления (классы) или погрешности аттестации (разряды), а также из-за погрешности от притирания.

Измерительное усилие обеспечивает замыкание элементов измерительной цепи, включающей как элементы измерительного средства, так и объект измерения, и вызывает их упругие деформации.

В нормативных документах обычно регламентируются максимальные значения и перепад измерительного усилия.

Максимальное усилие следует учитывать при расчете контактных деформаций, которые, кроме того, зависят от материала, формы и состояния поверхности измерительного наконечника и объекта измерения.

Погрешности, обусловленные криволинейной формой поверяемой поверхности, обычно учитываются при расчете значений погрешностей измерения. Это относится к погрешностям измерения внутренних размеров.

Погрешности, вносимые в измерения, могут быть субъективными, к числу которых можно отнести погрешности: присутствия, отсчитывания, действия и профессиональные.

В субъективных погрешностях присутствия можно включить влияние теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды.

К субъективным погрешностям действия относятся погрешности, вносимые оператором при настройке прибора, подготовке объекта измерения или установочных мер и т. д., а также погрешности от притирки концевых мер.

Эти погрешности учесть весьма трудно, поэтому все зависит от профессионального навыка оператора.

Трудно поддаются учету и погрешности, происходящие от температурных деформаций. Температурная погрешность измерения представляет собой разность температурных деформаций объекта измерения и измерительного средства при абсолютных измерениях и объекта измерения и установочной меры при относительных измерениях.

Температурная погрешность имеет в общем случае две причины возникновения: разность коэффициентов линейного расширения материалов и разность температур объекта и средства измерения или установочной меры.

Температурная погрешность почти всегда присутствует при измерении, и ее влияние растет с увеличением измеряемых размеров и точности измерения. Возникает температурная погрешность тогда, когда температура помещений, в которых производятся измерения, настройка и аттестация измери-

тельных средств, а также температура объектов и средств измерения отличается от нормальной: 20 °С.

Постоянное отклонение температуры помещения, объектов и средств измерения от 20 °С приводит к систематическим температурным погрешностям, а неравномерные колебания их температуры до и во время измерения — к случайным. К случайным относятся также погрешности, вызванные неточностью определения коэффициентов линейного расширения материалов и температуры объектов и средств измерения.

Для самолетостроения наиболее частой является разность коэффициентов линейного расширения материалов контролируемого объекта и средства измерения, так как большинство крупногабаритных деталей самолета изготавливают из легких сплавов, а средства измерения, как правило, — из стали.

Например, при контроле изделия длиной 2000 мм при $t = 15^\circ\text{C}$ (то есть при отклонении от нормальной температуры на 5 °С) отклонение в размере Δl составит 0,226 мм, или весь допуск на изделие (допуск на изделие для $l = 2000$ мм по 3-му классу точности составляет 0,25 мм). Коэффициент линейного расширения дюралюминия равен $22,6 \cdot 10^{-6}$.

Особо важное значение вопрос о температурных погрешностях приобретает при контроле деталей в процессе обработки на станках или вне станков, но непосредственно после обработки, так как в этих случаях разность температур проверяемой детали и измерительного средства может достигать 30 °С и более.

Правильность выбора баз и конструкций зажимных устройств при обработке и контроле в значительной мере определяет точность работы контрольно-измерительного средства. Под измерительной базой понимают те поверхности изделия, которыми оно устанавливается на измерительное устройство и по отношению к которым определяются размеры изделий. Выбор баз измерения зависит от стадии технологического процесса, на которой производится контроль.

При контроле заготовок за измерительные базы следует принимать те поверхности изделия, на которые оно базируется при последующей механической обработке, что обеспечит правильный контроль припусков.

При операционном контроле за измерительные базы следует принимать те же технологические базы, которые использовались при изготовлении деталей. При окончательном контроле деталей и изделий в качестве базы измерения должна быть использована основная монтажная база, то есть поверхность, на которую деталь устанавливается относительно других деталей узла.

Всякое контактное измерение связано с наличием измерительного усилия. Погрешности, вызванные измерительным усилием, могут оказаться весьма значительными, особенно при контроле мягких и тонкостенных деталей (легко деформируемых). С другой стороны, очень малые измерительные усилия могут явиться также источником погрешностей, так как не всегда исключают влияние налета, пыли, грязи, слоя охлаждающей жидкости и т. п. и фактически не обеспечивают надежного контакта с контролируемым изделием.

В таблице приведены рекомендуемые нормы измерительного усилия.

Естественно, что нежесткие детали должны контролироваться с минимальным измерительным усилием.

При выборе средств контроля необходимо учитывать и организационно-технические формы контроля в зависимости от условий изготовления изделий.

Во-первых, следует учитывать, что при устойчивых, стабильных процессах изготовления изделия, обеспечивающих постоянство получения контролируемых параметров, рекомендуется выборочный контроль (статистические методы контроля). В этом случае целесообразно применять обычные механизированные или немеханизированные средства контроля. Такая форма контроля не требует высокой производительности.

Во-вторых, при неустойчивых технологических процессах, не обеспечивающих постоянства контролируемых параметров, и при сортировке деталей на группы для сборки путем селективного подбора применяется 100%-ный контроль. В этом случае используются высокопроизводительные контрольные средства и калибры.

При выборе средств контроля следует иметь в виду и этап контроля. Для межоперационного контроля основной задачей является проверка правильности хода технологического процесса. В этом случае целесообразно использовать контрольные средства с отсчетными устройствами.

На этом этапе применяется дифференцированный метод контроля, который характеризуется раздельной, независимой проверкой каждого размера детали.

При окончательном контроле основной задачей является выявление брака, а не его предупреждение. В этом случае, как правило, применяют комплексный метод контроля, который характеризуется измерением совокупности отклонений различных элементов детали, исходя из требований собираемости и взаимозаменяемости их в узле.

Объем производства определяет необходимую производительность контроля, а следовательно, и уровень механизации.

При мелкосерийном и индивидуальном производстве рекомендуются универсальные контрольные средства, при серийном — механизированные, многомерные контрольные устройства, а при массовом производстве — механизированные приборы и автоматы.

Однако, если технологический процесс обеспечивает получение продукции со стабильными параметрами, даже при крупносерийном и массовом производстве, применение автоматов для контроля нецелесообразно. В этом случае более рациональным является выборочный контроль на механизированных контрольных приборах или статистический контроль.

При назначении допусков на размеры и классов чистоты поверхности также необходимо учитывать погрешности методов и средств измерения.

Допуск детали, мкм	Измерительное усилие, гс, не более
До 2	250
От 2 до 10	400
Св. 10	1000

На практике, как правило, допуск на изделие принимается за производственный, в то время как он включает в себя, кроме того, и погрешности измерения

$$\delta_{\text{изд}} = \delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{изм}},$$

где $\delta_{\text{изд}}$ — допуск;

$\delta_{\text{пр}}$ — производственный допуск;

$\Delta_{\text{изм}}$ — погрешность измерения.

Соотношение между этими величинами приведено на рис. XVII.1.3.

Неправильно принятая деталь (скрытый брак из-за погрешности измерительного средства) может повлиять на надежность работы узла, агрегата в процессе их эксплуатации.

При назначении допуска на изготовление конструктор должен иметь в виду существующие средства контроля, используемые на производстве, и их технические возможности (характеристики и другие данные).

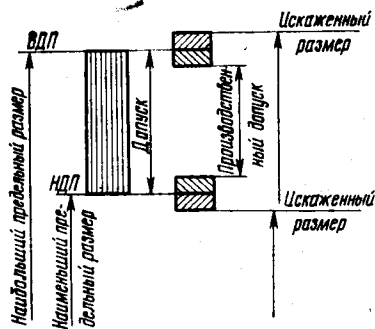


Рис. XVII.1.3. Соотношение величин заданного допуска на изделие, производственного допуска и погрешности измерения.

На этом этапе устанавливают оптимальный объем параметров, которые необходимо измерять в процессе производства, в том числе при операционном, инспекционном, выборочном, сплошном, входном и приемочном контроле (по ГОСТ 16504—81), и оптимальную точность измерения этих параметров.

Выбор методов и в дальнейшем средств контроля на соответствующих операциях является необходимым условием для обеспечения взаимозаменяемости и высокого качества деталей, узлов и агрегатов.

Конструктор, помимо разнообразных факторов, которые он учитывает при назначении допуска на спроектированную деталь (узел), обязательно должен принимать во внимание и влияние погрешности измерения.

При простановке допуска конструктор обязан проверить влияние погрешностей измерения на правильность его простановки. Для этого конструктор должен определить ориентировочную предельную погрешность измерения, которая рекомендует для данного размера и допуска в соответствии с ГОСТ 8.051—81.

Для общих расчетов по определению погрешности измерения удобно связывать погрешность измерения с контролируемым допуском, то есть принимать относительную погрешность измерения $A_{\text{мет}(\sigma)}$.

Относительную погрешность измерения выражают в процентах либо десятичной дробью.

Для определения относительной погрешности измерения погрешность измерения 2σ относят ко всему полю контролируемого допуска ИТ. Например, при контроле изделия с полем допуска ИТ = ± 10 мкм и погрешностью измерения, равной 4 мкм, относительная погрешность измерения равна

$$A_{\text{мет}(\sigma)} = \frac{4}{2 \cdot 20} = 0,1, \text{ или } 10 \ \%.$$

Анализ всевозможных технологических процессов обработки деталей показывает, что распределение размеров контролируемых деталей обычно не имеет строго выраженных законов.

Чаще на практике пользуются законом нормального распределения (Гаусса) и законом равной вероятности (прямоугольника).

Влияние законов распределения контролируемых деталей на результаты рассеивания их размеров удобнее выразить через относительную величину, связанную как с допуском контролируемых деталей, так и с характеристикой распределения, то есть ИТ/ $\delta_{\text{тех}}$.

$$\Delta_{\text{изд}}/\delta_{\text{тех}}.$$

В реальных производственных условиях обязательно возникает погрешность измерения, которая влияет на результаты разбраковки деталей. Эти искажения будут относиться к участкам кривой распределения, расположенным от границ поля допуска в обе стороны, и к деталям, отклонения которых отличаются от предельно допустимых значений на величину, не превышающую допускаемую погрешность измерения.

В этих условиях для оценки влияния погрешности измерения на результаты разбраковки устанавливают связь между погрешностью измерения (коэффициентом точности метода измерения $A_{\text{мет}(\sigma)}$), вероятностью неправильного принятия бракованных деталей m , возможностью появления забракованных годных деталей n и вероятностной величиной выхода размера за границу поля допуска c у неправильно принятых деталей.

Таким образом, влияние погрешности измерения оценивается параметрами:

m — количество деталей в процентах от общего числа измеренных, имеющих отклонения, выходящие за обе допускаемые границы и принятые в числе годных (неправильно принятые);

n — количество деталей в процентах от общего числа измеренных, имеющих отклонения, находящиеся в допускаемых границах, но забракованные (неправильно забракованные);

c — вероятностная предельная величина выхода размера за каждую границу допуска у неправильно принятых деталей.

Участие конструктора в выборе измерительных средств рассмотрено на схеме 1, в основу которой легли положения ГОСТ 8.051—73.

В данном случае конструктора будут интересовать только два показателя:

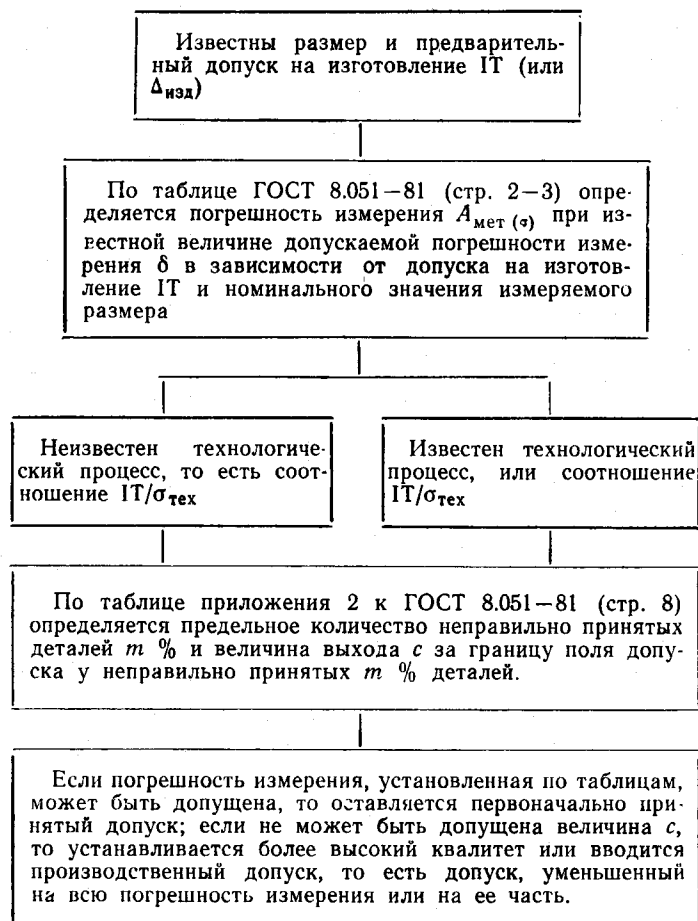
— количество деталей, которые могут быть неправильно приняты, m %, то есть количество бракованных деталей, попавших в число годных;

— величина выхода c за границу поля допуска,

При этом определении можно применить два варианта.

При одном из них (бывает чаще) конструктор не знает точностных возможностей технологического процесса $\sigma_{\text{тех}}$, поэтому он определяет предельное количество неправильно принятых деталей $m\%$.

Схема 1



При другом варианте (бывает весьма редко) конструктору известны точностные возможности технологического процесса изготовления деталей $\sigma_{\text{тех}}$, и он может определить количество неправильно принятых деталей $m\%$.

Параметры m , n и c устанавливаются конструктором в соответствии с ГОСТ 8.051-81.

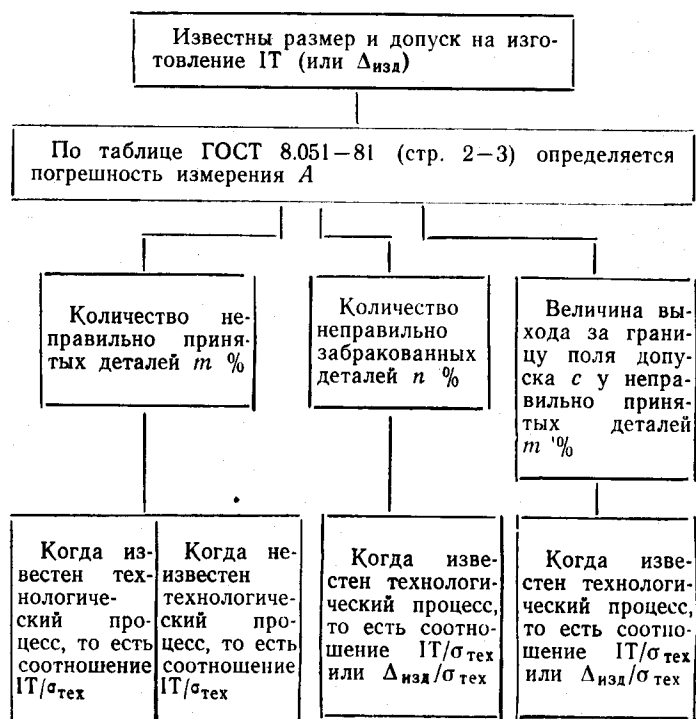
Технолог в большинстве случаев назначает конкретные измерительные средства. Исходными позициями для технолога по выбору измерительных средств является то, что если в технической документации поставлен допуск, то это означает, что с конструктором согласована допустимая погрешность измерения. Но поскольку технолог должен обеспечить изготовление деталей с минимальными затратами, его интересует не только количество неправильно забракованных готовых деталей.

Технолог должен иметь полное представление, насколько достоверно оцениваются размеры деталей, а также полное представление о последовательности разбраковки деталей (схема 2). Он должен иметь сведения о точностных возможностях существующего технологического процесса, а при проектировании нового технологического процесса,

когда недостаточно ясны его точностные возможности, можно воспользоваться ГОСТ 8.051-81.

Технолог должен оценить, главным образом количество неправильно забракованных деталей $n\%$ и по результатам оценки использовать средства контроля с уменьшенной погрешностью, чтобы сократить количество неправильно забракованных деталей.

Схема 2



Наиболее совершенным способом уменьшения влияния погрешности измерения является повышение точности изготовления, когда погрешность измерения будет незначительно влиять на результаты разбраковки и уменьшается действительный брак.

Параметры $m\%$, $n\%$ и c устанавливаются согласно таблице, приведенной в приложении 2 к ГОСТ 8.051-81 (стр. 8).

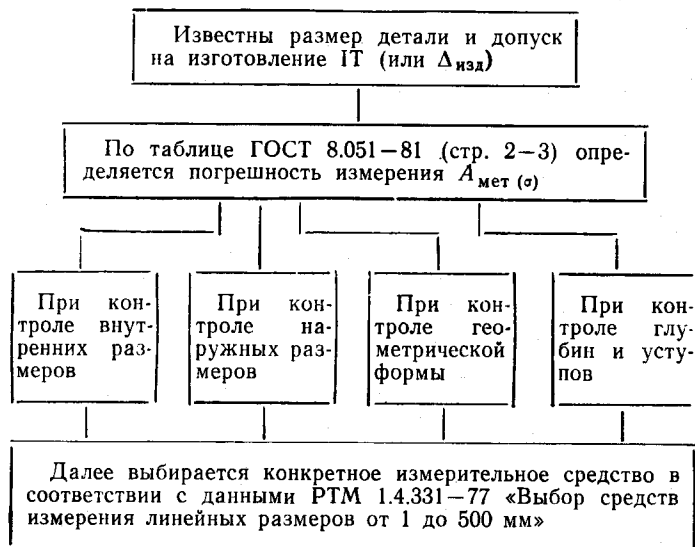
Метролог при разработке новых технологических процессов должен совместно с технологом определить конкретные измерительные средства и условия их использования.

Он обязан знать существующие измерительные средства как имеющиеся на данном предприятии, так и заказываемые для тех или иных целей, порядок работы с ними, их эксплуатационные возможности, а также уметь оценить составляющие погрешности измерения, возникающие при определенных условиях проведения измерений, анализировать применяемые схемы измерения в целях выявления точностных возможностей, которыми они обладают.

Последовательность выбора измерительных средств в зависимости от размеров и классов точности контролируемой детали приведена на схеме 3. Исходные позиции, с которых начинает работать метролог, заключаются в том, что конструктором уже определены размеры на контролируемую деталь, установлены допуски на ее изготовле-

ние, и если нет замечаний о введении производственного допуска, то, следовательно, конструктор не возражает, что измерение будет производиться с погрешностью, приведенной на графиках (см. приложение 2 к ГОСТ 8.051—81).

Схема 3



Задача метролога состоит в том, чтобы выбрать конкретное измерительное средство и условия его применения.

Если метролог установит, что рекомендуемые условия измерения не могут быть созданы в существующем производстве, то ему необходимо оценить степень влияния изменившихся условий и определить суммарную погрешность измерения. При выборе конкретного измерительного средства метролог должен отдавать предпочтение тем из них, которые прежде всего имеются в наличии. При необходимости приобретения контрольно-измерительных средств предпочтение следует отдавать тем средствам, которые проще по конструкции, с которыми может работать контролер (оператор) невысокой квалификации и для которых могут быть обеспечены оптимальные условия проведения измерений.

Контрольная операция по проверке качества деталей на различных стадиях обработки и окончательно готовых деталей является неотъемлемой частью технологического процесса. Поэтому методике пооперационного контроля, предусматривающую средства и способы контроля качества выполненной операции, отражают в картах технологического процесса.

В серийном производстве для контроля готовых изделий или отдельных узлов, а также после обработки сложных по конфигурации деталей, когда приходится осуществлять несколько контрольных операций или переходов, методику и технику контроля целесообразно отражать в операционных картах технического контроля (ГОСТ 3.1502—74).

Типовые карты контроля целесообразно составлять для однотипных деталей, предъявляемых в большом количестве, а также однотипных деталей средних размеров, как, например, корпуса, фланцы и т. д.

Особую ценность эти карты приобретают при освоении производства новых изделий, а также когда контролер не имеет достаточного опыта.

В картах контроля рекомендуется отражать:

- параметры качества, которые должны быть проверены на 100% или выборочно;
- последовательность выполнения контрольных операций;
- наименование и условные обозначения измерительных средств, применяемых для проверки изделия;
- метод контроля (как осуществлять контрольные приемы и операции);
- технические условия на проверяемые параметры качества (допуски и т. д.);
- место и способ клеймения.

Правильно составленные карты контроля упорядочивают работу контролера и облегчают ее.

На основе данных карт легко определить номенклатуру и количество необходимых измерительных инструментов или приборов и необходимое время для выполнения контрольных операций в отдельности и в целом на проверку готовых изделий и их узлов.

В картах указывается также рациональная последовательность выполнения контрольных операций или переходов, что ускоряет процесс контроля, уменьшает субъективные влияния на оценку качества изделия и устраняет разногласия между контролерами и производителями в определении качества продукции. Картами контроля, составленными в полной увязке с требованиями чертежа, дополнительными техническими условиями и технологическим процессом, обеспечивается единство и постоянство методов контроля качества на различных участках производства различными контролерами и в разное время.

В разделах метрологического обеспечения конструкторской и технологической документации устанавливаются обязательные показатели процесса контроля:

- точность измерений;
- достоверность контроля;
- трудоемкость контроля;
- стоимость контроля.

В зависимости от специфики производства и видов объекта контроля могут быть допущены к применению другие показатели процесса контроля (например, погрешность измерения, объем, полнота, периодичность, продолжительность контроля и т. д.).

Методику расчета показателей процесса контроля и порядок их учета устанавливает предприятие-разработчик.

При выборе средств контроля должно быть обеспечено максимальное применение рациональных для данных условий средств контроля, регламентированных государственными, отраслевыми стандартами и стандартами предприятия. При выборе средств контроля используются следующие виды документации:

- конструкторская документация на изделие;
- технологическая документация на изготовление и контроль изделия;
- государственные, отраслевые стандарты и стандарты предприятия на средства контроля;
- каталоги на средства технического контроля;
- классификаторы средств контроля;
- картотеки применяемых средств контроля;

— инструктивно-методические материалы по выбору средств контроля.

К применению допускаются средства контроля, признанные годными по результатам метрологического надзора в соответствии с требованиями ГОСТ 8.002—71.

Средства контроля (приборы и средства автоматизации) должны удовлетворять требованиям ГОСТ 12997—76.

Разработанная в процессе подготовки производства нормативно-техническая, конструкторская и технологическая документация, регламентирующая нормы точности, методы, средства контроля и испытаний, условия и процедуру подготовки и проведения измерений, обработку, а также показатели точности измерений, должна быть подвергнута метрологическому контролю (метрологической проработке и в случае производственной необходимости — метрологической экспертизе).

Глава 2. КОНТРОЛЬ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

МОНОЛИТНЫЕ ПАНЕЛИ

Особую сложность при контроле представляют крупногабаритные монолитные детали летательных

аппаратов типа балок, лонжеронов, панелей, обшивок. К таким деталям относятся и монолитные панели, изготавливаемые из сплавов алюминия Д16, Д19, В95, АК4-1 и частично из стали, титановых сплавов и других конструкционных материалов.

Основные геометрические параметры панелей представлены на рис. XVII.2.1 (см. таблицу).

В целях улучшения условий контроля панелей — не рекомендуется проектировать высокие ребра жесткости, создающие трудности в подведении измерительных контактов или датчиков в момент измерения;

— следует избегать многоступенчатости полотна панелей — это требует перенастройки измерительных средств на разные величины толщин одной и той же панели;

— не рекомендуется задавать большие габаритные размеры панелей, что ведет к деформации панели в продольном и поперечном направлениях;

— следует избегать неоднородности материала панелей созданием плакированного слоя, крупнозернистого ободка.

Особую трудность при контроле представляют панели с переменным сечением полотна (многоступенчатые и клиновидные), когда необходима предварительная разметка контролируемых сечений и точек.

В настоящее время на большинстве предприятий отрасли полотно панелей измеряется по толщине индикаторными скобами (рис. XVII.2.2). Этот способ контроля имеет ряд существенных недостатков, основными из которых являются:

— неудобство снятия показаний по шкале индикатора часового типа в момент измерения под контролируемой панелью;

— ограниченный диапазон применения из-за больших габаритных размеров панелей;

— трудность подведения контактов для контроля точек, удаленных от края изделия;

— быстрая утомляемость контролера из-за большой массы (около 5 кг) и больших габаритных размеров (свыше 500 мм) скобы;

— большая трудоемкость контроля.

Основными составляющими погрешности измерения скобой являются:

— погрешность, вызываемая нежесткостью конструкции скобы;

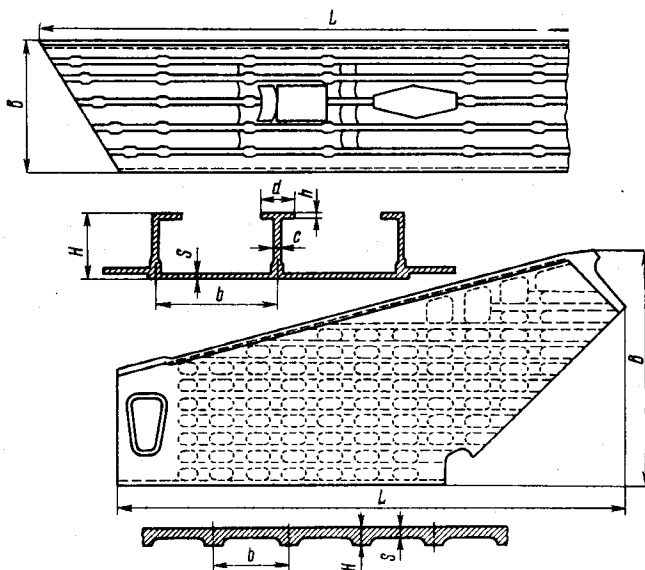


Рис. XVII.2.1. Основные геометрические параметры панелей.

Наименование параметра	Размеры, мм	Допустимые пределы отклонений, мм
Длина панели L	1000—25 000	по ОСТ 1.00022—80
Ширина B	500—3000	по ОСТ 1.00022—80
Толщина полотна s	1,2—15	0,15—0,05
Высота ребра H	10—115	0,8—1
Ширина полки d	8—100	0,8
Толщина полки h	3—6	0,8
Толщина ребра c	5—10	0,15—0,2
Расстояние между ребрами b	100—130	—
Шероховатость поверхности полотна	—	$Rz \sqrt{20} - Ra \sqrt{2,5}$
Саблевидность	—	1 мм на 1 пог. м, но не > 4 мм на всю длину

— погрешность из-за неточности выставления (неперпендикулярности) линии измерения скобы относительно обработанной поверхности полотна панели;

— погрешность настройки скобы;
— погрешность от параллакса;
— погрешность индикатора часового типа (ГОСТ 577—68).

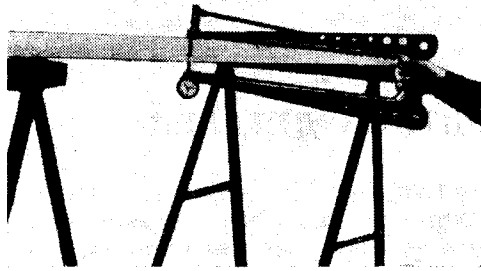


Рис. XVII.2.2. Контроль панелей в цеховых условиях.

Конструктор и технолог должны учитывать, что точностные характеристики готовых панелей зависят от всего цикла обработки и их контроля. Основными этапами контроля геометрических параметров монолитных панелей являются:

Контроль заготовок в состоянии поставки:

- а) габаритные размеры;
- б) коробоватость (неплоскостность).

Контроль заготовок после рихтовки (неплоскостность).

Контроль в процессе обработки (фрезерования):

- а) правильность (плотность) прилегания базовых поверхностей заготовки и стола станка;
- б) правильность установки режущего инструмента на размер при обработке на станках;
- в) наблюдение за ходом технологического процесса путем периодических измерений отдельных ячеек (сечений) панелей.

Контроль готовых панелей после механической обработки.

Ввиду того, что панели являются крупногабаритными и дорогостоящими деталями, необходимо, чтобы результаты контроля заносились в карту контроля, предусмотренную для каждой панели с указанием ранее определенных контролируемых сечений и точек (должны определяться конструктором и технологом).

Контроль готовых панелей зависит от этапов предыдущего контроля. Если контроль осуществляется в процессе обработки панелей на станках, то окончательный контроль можно производить по точкам или сечениям методом статистических выборок. Величина выборки (количество контролируемых сечений и точек) зависит от состояния технологического процесса и количества установов инструмента при обработке панелей.

Особенно важным является контроль панелей с криволинейной образующей в критических сечениях полотна.

Линия перехода полотна и ребра готовой панели должна подвергаться наиболее тщательному контролю.

За последнее время на ряде предприятий отрасли разработаны новые средства для измерения толщин (стенок) изделий, в том числе и для полотен панелей, с односторонним подходом.

К числу таких измерительных средств необходимо отнести [2]:

— ультразвуковые толщиномеры моделей УТ-1 и УТ-1Б, рекомендуемые для контроля толщины деталей из алюминиевых сплавов при одностороннем доступе;

— токовихревой фазовый толщиномер модели ИФТО-1 для измерения толщин деталей из алюминиевых сплавов, а также обшивок при формировании на обтяжных прессах, панелей при химическом травлении и шлифовании;

— портативный ультразвуковой толщиномер модели ТАУ-5М для измерения толщины стенок изделий из стали, алюминиевых и титановых сплавов;

— ультразвуковой толщиномер модели УТ-301;

— ультразвуковой толщиномер модели УТ-201;

— ультразвуковой толщиномер модели УТ-101 для контроля толщин металлических деталей на плоских и криволинейных поверхностях;

— фазовый толщиномер модели ТФ для непрерывного автоматического контроля толщины деталей из алюминиевых сплавов в процессе химического фрезерования, измерения толщины в любой зоне детали после химического фрезерования без снятия защитных пленок, окончательного контроля толщины деталей после механической обработки при одно- и двустороннем доступе, а также для получения информации в процессе технологического процесса в нескольких точках;

— тиристорный фазовый толщиномер модели ТТФ для измерения толщины полых профилей марки АВТ в процессе травления и при окончательном контроле, а также для измерения толщины листовых деталей при окончательном контроле;

— универсальный фазовый толщиномер модели УФТ-1 для непрерывного бесконтактного контроля толщины деталей из немагнитных сплавов в процессе размерного травления и измерения обрабатываемых зон изделия после травления без снятия защитных покрытий.

Технические характеристики указанных средств измерения приведены в каталоге «Специализированные средства измерений геометрических параметров» (НИАТ, 1973 г.).

Контроль диаметров крупногабаритных деталей, обрабатываемых на токарных и карусельных станках. В основе измерения лежит метод обкатывания измеряемой детали роликом заданного диаметра.

Прибор для контроля включает в себя следующие основные части: датчики измерительных и командных импульсов, механизм регулирования измерительного усилия и электронный блок, объединяющий усилитель, преобразователь и стандартный счетчик импульсов.

Измерительная головка, состоящая из обкатного ролика с датчиком измерительных импульсов и механизма регулирования измерительного усилия,

крепится на станке и в процессе измерения находится в контакте с измеряемой деталью.

В обкатной ролик вмонтирован фотоэлектрический датчик измерительных импульсов, выдающий 3750 импульсов за один оборот обкатного ролика.

Размещение датчиков измерительных и командных импульсов на станках индивидуальное и зависит от их конструктивных особенностей.

К числу подобных средств можно также отнести приборы моделей:

- ИД-3 конструкции ЦНИИТМАШ;
- 7ПКС-205 для измерения наружных диаметров непосредственно на станке до или после обработки изделия;
- 7ПКС-157 для измерения наружных и внутренних диаметров нежестких тонкостенных оболочек, снятых со станка;

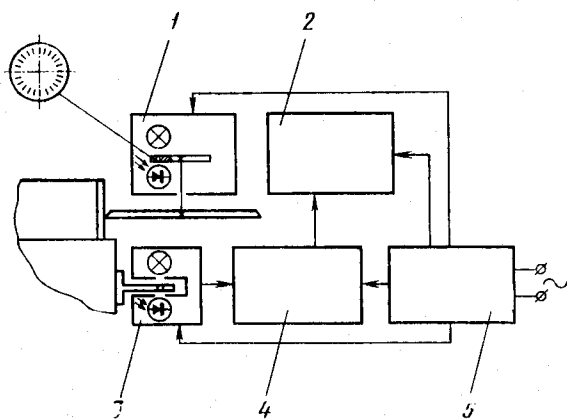


Рис. XVII.2.3. Блок-схема прибора ПК-153:

1 — измерительная головка; 2 — блок цифрового отсчета; 3 — счетчик оборотов детали; 4 — блок согласования; 5 — блок питания.

— ПК-153 (рис. XVII.2.3) для измерения больших диаметров валов в процессе точения на токарном станке; метод измерения контактный со следящим приводом и непрерывным визуальным отсчетом текущих значений диаметра вала.

Приборы имеют следующую характеристику.

Техническая характеристика

	ИД-3	7ПКС-157	ПК-153	7ПКС-205
Пределы измерений, мм	500—10 000	от 300 и выше	1500—10 000	от 300 и выше
Диапазон скоростей вращения измеряемой детали, м/мин	10—150	—	—	—
Диаметр обкатного ролика, мм	150	50	150	50
Цена деления прибора, мм	0,01	—	0,01	—
Измерительный цикл	2 оборота детали	—	—	—
Датчик командных импульсов	Индуктивный, бесконтактный			
Счетчик импульсов типа	ПС-100	—	—	—
Усилие, с которым ролик прижат к измеряемой детали, кгс	20—25	0,8	0,5	—
Масса измерительной головки, кг	5	—	—	—
Напряжение питающей сети, В	127 или 220	—	—	—
Масса прибора, кг	—	1,4	—	1,89

КОНТРОЛЬ ДИАМЕТРОВ ДЛИННЫХ ВАЛОВ И ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ТИПА ЦИЛИНДРА В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ

Наибольшее распространение средства активного контроля получили на станках шлифовальной группы вследствие требуемой высокой точности обработки и относительно малой размерной стойкости режущего инструмента.

НИАТом совместно с ведущими предприятиями отрасли разработана и внедрена серия измерительных приборов для контроля диаметров длинных валов и глубоких отверстий в деталях типа цилиндра в процессе шлифования и хонингования.

Контроль диаметров валов

Для контроля диаметров валов (длинных и коротких) рекомендуется универсальная трехконтактная навесная измерительная скоба модели СУКШВ-2 (рис. XVII.2.4) с диапазоном диаметров от 10 до 350 мм (8 аналогов типовой конструкции): 10—108 мм; 20—144 мм; 30—178 мм; 40—212 мм; 50—246 мм; 60—282 мм; 70—316 мм и 80—350 мм).

Измерительные скобы разработаны для контроля деталей, изготавливаемых по 6—7-му и 8-му классам точности ГОСТ 8.051—81 (2—3-му классам точности).

В технологическом отношении конструкция измерительной скобы малотрудоемка, несложна по исполнению, может быть спроектирована цеховым конструктором, специализирующимся в области создания технологических приспособлений, оснастки и знакомым со станочным оборудованием шлифовальной группы [7], и изготовлена на любом из производственных участков средней оснащенности.

Типовая конструкция измерительной скобы состоит из рамы-скобы 14 с обжимным хомутом; несущей полой втулки 2, на которой укреплены рамаскоба и подвесной хомут 18, обжимающий консольную трубку 3; подвижной рамы-фермы 5 и двух втулок (с ушками и консольной частью), шарнирно связанных через полутяги 4 и резьбовую втулку 6.

Система образует антипараллелограмм, с помощью которого под действием противовеса 9 рама-скоба 14 подводится к обрабатываемой детали.

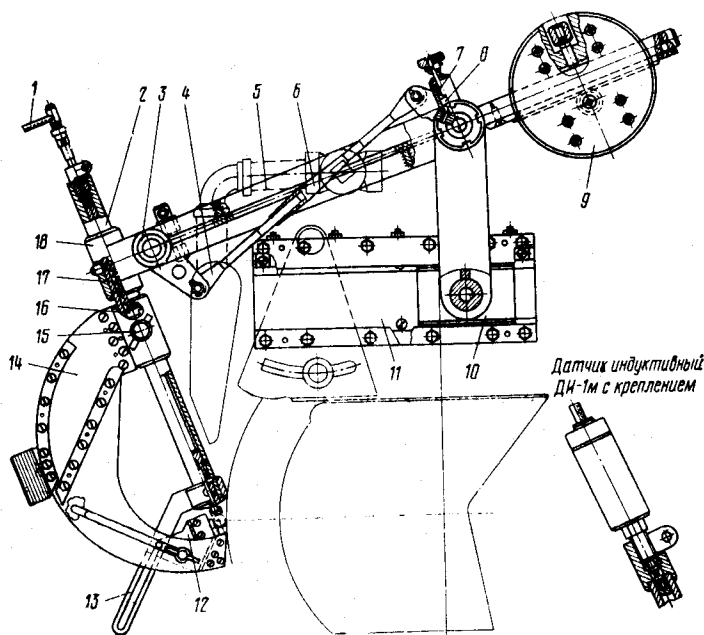


Рис. XVII.2.4. Универсальная трехконтактная навесная измерительная скоба модели СУКШВ-2:

1 — хлорвиниловая трубка, соединяющая датчик с отсчетным устройством; 2 — полая втулка; 3 — консольная трубка; 4 — полутяги; 5 — подвижная рама-ферма; 6 — резьбовая втулка; 7 — пружина; 8 — фиксатор; 9 — противовес; 10 — кронштейн; 11 — направляющая; 12 — вкладыш; 13 — консольная планка; 14 — рама-скоба; 15 — винт; 16 — подвижной стержень; 17 — спиральная пружина; 18 — подвесной хомут.

С торцевой части несущей полой втулки 2, обращенной к обрабатываемой детали, под углом 45° к оси подвижного стержня 16 смонтирована консольная планка 13, «прошивающая» раму-скобу 14 и имеющая продольный паз, осевая линия которого перпендикулярна к осевой линии продольных пазов, выполненных в щеках рамы-скобы.

На пересечении осевых линий продольных пазов находится консольный палец вкладыша 12, несущий опорный наконечник.

При обработке детали нижний и опорный наконечники скобы под действием усилия и момента, создаваемого противовесом 9, кинематически связанным через неравноплечие рычаги, полутяги 4 и резбовую втулку 6 с подвесным хомутом 18, несущим, в свою очередь, раму-скобу 14, прижимаются к ее поверхности, образуя своими плоскостями призму, а верхний наконечник, смонтированный на подвижном стержне 16, прижимается также к ее поверхности под действием спиральной пружины 17.

Подвижная рама-ферма 5 шарнирно связана с кронштейном 10, принудительно перемещаемым по направляющей 11 при настройке измерительной скобы с размера на размер.

Настройка измерительной скобы на размер осуществляется в условиях динамики (при вращении детали и подаче смазочно-охлаждающей жидко-

сти) ослаблением винта-барашка, обжимающего (через щеки рамы-скобы) вкладыш 12. Рама-скоба 14 принудительно перемещается (при ослаблении винта 15) вдоль несущей полой втулки 2, в результате чего вкладыш смещается от своего первоначального исходного положения влево (при максимальном диаметре детали) или вправо (при минимальном диаметре детали).

Настройка производится по образцовой заранее аттестованной детали.

После обработки измерительная скоба снимается с детали и поднимается вверх до момента срабатывания под действием пружины фиксатора 8, входящего в продольный паз несущей оси кронштейна 10. Применение измерительной скобы подобной конструкции на заводе «Знамя труда» [3, 4] обеспечивает изготовление деталей типа вала по 6—7-му и 8-му квалитетам (2-му и 3-му классам точности) и позволяет объективно судить о годности обрабатываемой детали, предупреждая возможное появление брака. Показания, снимаемые с отсчетной части измерительной скобы, являются стабильными и надежными. Измерительная скоба удобна в эксплуатации, достаточно компактна и проста в настройке, ее применение позволяет значительно облегчить труд станочника-шлифовщика и повысить производительность труда на 15—18%.

Измерительные скобы указанного типа наиболее целесообразно применять при обработке гладких деталей типа вала при их обработке «на проход». В качестве чувствительного элемента может быть рекомендован пневматический, индуктивный или механический датчик с соответствующим отсчетным устройством.

В случае применения пневматического измерителя могут быть использованы датчик ДПК-5м конструкции НИАТа и серийно выпускаемое Челябинским инструментальным заводом отсчетное устройство модели БВ 6060-2К-1 (или БВ 6060-2К-0,5) со следующими характеристиками:

Техническая характеристика		
	БВ 6060-2К-0,5	БВ 6060-2К-1
Пределы измерений, мм	0,06	0,12
Число команд	2	2
Допускаемая погрешность по шкале, мкм:		
в пределах ± 10 делений от нуля	$\pm 0,5$	± 1
по всей шкале	± 4	± 10
Габаритные размеры, мм	280×314×415	

Контроль диаметров глубоких отверстий

Из числа приборов, разработанных НИАТОм для контроля диаметров глубоких отверстий в деталях типа цилиндра, рекомендуются приборы моделей ПШО-15м, ПКШО-1, ПКШО-2, УПКГО, УПКГО-1, ШУПКО-1 и другие с привязкой к внутришлифовальным станкам моделей HEALD и ХШ-83 для контроля деталей, изготавливаемых по 6—7-му и 8-му квалитетам ГОСТ 8.051—81 (2—3-му классам точности).

В основу всех предложенных двухконтактных приборов заложена схема измерения диаметра

отверстия — схема замкнуто-кольцевого типа, замыкающим звеном которой является пневматический датчик, используемый совместно либо с поплавковым пневматическим микромером ППО-9м (конструкции НИАТа), либо с пневматическим длиномером высокого давления мод. 320 завода «Калибр», либо с отсчетным устройством модели БВ 6060-2К-1 (или БВ 1096-М-2К).

Приборы имеют следующую техническую характеристику.

Техническая характеристика

	ПШО-15м	ПКШО-1	ПКШО-2	УПКГО	УПКГО-1	ШУПКГО-1
Диаметр, мм	270—350	150А	82А	140—180	98—128	170—222
Глубина обработки, мм	до 1400	600	740	1400	1000	1400
Метод измерения диаметра отверстия	3-контактный с «плавающей» измерительной головкой		2-контактный с применением измерительной системы «плавающего» типа			

Измерительная схема прибора модели ПКШО-1 (рис. XVII.2.5) предусматривает четыре попарно одинаковых измерительных рычага: два продольных 1 и 7, расположенных вдоль оси прибора, и два угловых 2 и 5, кинематически связанных между собой через пневматический датчик 3.

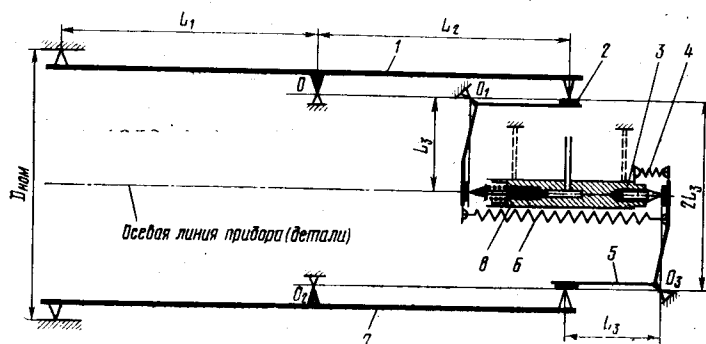


Рис. XVII.2.5. Измерительная схема двухконтактного прибора модели ПКШО-1 для активного контроля диаметров глубоких отверстий в деталях типа цилиндра на операциях шлифования:

1 — верхний продольный рычаг; 2 — верхний угловой рычаг; 3 — датчик; 4, 6 — пружины; 5 — нижний угловой рычаг; 7 — нижний продольный рычаг; 8 — клапан датчика.

Измерительная система прибора вывешена с помощью плоских стальных пружин на специальной державке, выполненной в виде полутрубы и жестко связанной с неподвижной частью станка (станцией). Неподвижная державка охватывает с расчетным зазором подвижную борштангу внутришлифовального станка и глубоко введена в отверстие обрабатываемой детали. Пневматический датчик 3, ось которого расположена параллельно осевой линии прибора (оси обрабатываемой детали), подвешен на двух вертикально расположенных плоских стальных пружинах и кинематически связан через пружину 4 с нижним угловым рычагом 5, а клапан 8 датчика под действием спиральной пружины поджимается к рабочей площадке верхнего углового рычага 2.

Настройка прибора на размер осуществляется с помощью образцовой детали в условиях динами-

ки (при вращении детали и подаче смазочно-охлаждающей жидкости).

Измерительные наконечники (располагаются в плоскости, проходящей через середину ширины шлифовального круга) верхнего и нижнего продольных рычагов усилием пневматических цилиндров прижимаются с расчетным усилием к поверхности детали.

Ввертывая настроечный винт в корпус датчика или вывертывая его, устанавливают в нужное

положение (относительно принятого деления шкалы) индикаторный элемент (стрелку, поплавок) отсчетного устройства.

Длительная эксплуатация прибора на заводе «Знамя труда» [5] показывает:

а) прибор обеспечивает возможность изготовления деталей по 2-му классу точности и позволяет полностью ликвидировать брак при шлифовании;

б) показания прибора стабильны и надежны; прибор обладает высокой чувствительностью на отклонения от геометрической формы отверстия;

в) прибор не затрудняет визуального наблюдения за процессом съема металла при шлифовании (при работе на «искру»), удобен в эксплуатации, достаточно компактен и прост в настройке.

В отличие от измерительного прибора модели ПКШО-1 приборы моделей УПКГО и УПКГО-1 являются универсальными ввиду их возможного использования для сравнительно широкого диапазона диаметров обрабатываемых деталей.

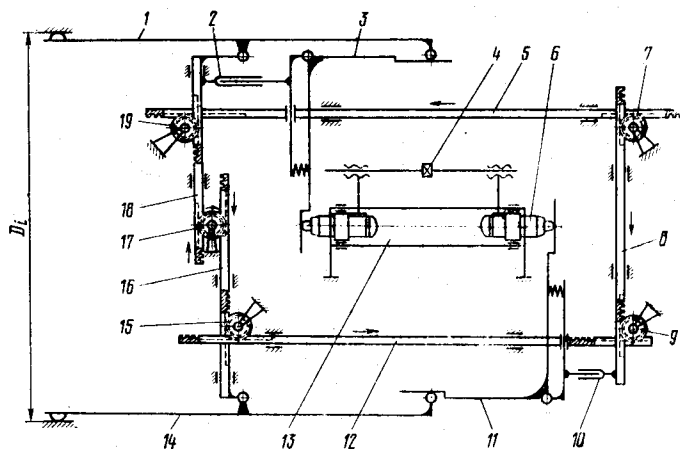


Рис. XVII.2.6. Схема механизма двухконтактного универсального прибора модели УПКГО (УПКГО-1) для активного контроля диаметров глубоких отверстий в деталях типа цилиндра на операциях шлифования:

1, 3, 11, 14 — рычаги; 2, 10 — направляющие; 4 — винт настройки; 5, 8, 12, 16, 18 — рейки; 6 — датчик прямого и обратного действия; 7, 9, 15, 19 — вспомогательные шестерни; 13 — корпус; 17 — ведущая шестерня.

Особенностью этих приборов является перенастраиваемость с размера на размер, а также использование двух датчиков, встроенных в рамку, подвешенную на плоских пружинах.

Схема механизма любого из указанных приборов (рис. XVII.2.6) предусматривает два автономных измерительных блока: верхний, включающий рычаги 1 и 3, рейки 18 и 5, направляющую 2 для углового рычага 3, и нижний блок, включающий рычаги 14 и 11, рейки 16, 18 и 12 и направляющую 10 для нижнего углового рычага.

Кинематически блоки связаны между собой через шестерни: ведущую 17 и вспомогательные 19, 9, 7 и 15.

Грубая настройка прибора на размер осуществляется поворотом ведущей шестерни 17, а точная — при вращении винта настройки 4.

Измерительная система прибора вывешена с помощью специальной державки в виде полутрубы, жестко связанной с неподвижной частью станка (станиной).

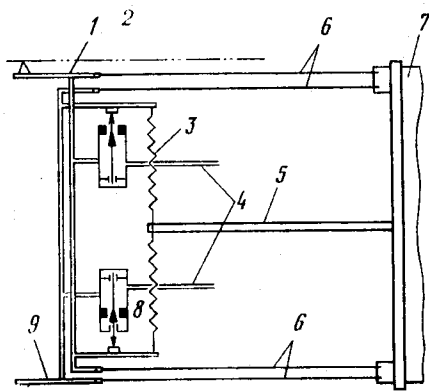


Рис. XVII.2.7. Схема механизма двухконтактного широкодиапазонного универсального прибора модели ШУПКО-1 для активного контроля диаметров глубоких отверстий в деталях типа цилиндра на операциях шлифования:

1, 9 — подвижные рамки; 2 — датчик прямого действия; 3 — спиральная пружина; 4 — полихлорвиниловые трубки; 5 — стержень; 6 — плоские стальные пружины; 7 — несущая державка (полутруба); 8 — датчик обратного действия.

Схема механизма прибора ШУПКО-1 (рис. XVII.2.7) предусматривает две автономно вывешенные на плоских стальных пружинах 6 подвижные рамки 1 и 9.

Стальные пружины закреплены на несущей державке 7, смонтированной на станине внутришли-

фовального станка. Каждая из рамок несет резбовое гнездо, куда ввернут комбинированный пневматический датчик модели ДПКп/о-1 конструкции НИАТа.

Подвижная рамка 1 несет датчик прямого действия 2, а подвижная рамка 9 — датчик обратного действия 8.

Расчетное измерительное усилие обеспечивается с помощью спиральной пружины 3. Подвод сжатого воздуха, стабилизированного по давлению, обеспечивается с помощью полихлорвиниловых трубок 4. Настройка прибора осуществляется при наличии образцовой детали в условиях динамики и подаче смазочно-охлаждающей жидкости:

— для грубой настройки — относительным перемещением кронштейнов, несущих измерительные наконечники, по подвижным роликам (на чертеже не указаны);

— для точной настройки — относительным смещением датчиков.

Принципиальная схема любого из приборов включает элементы автоматизации, обеспечивающие совместную эксплуатацию прибора со станочным оборудованием, приспособленным для этих целей.

В качестве отсчетного устройства рекомендовано устройство модели БВ 6060-2К-1 (или модели БВ 1096-М-2К) Челябинского инструментального завода.

Для контроля диаметров глубоких отверстий крупногабаритных деталей типа цилиндра в диапазоне диаметров 250—400 мм при глубине обработки до 1400—1800 мм на круглошлифовальных станках моделей ХШ-82 и ХШ-83 рекомендуется прибор ПШО-15м.

Прибор указанной модели состоит из разъемного хомута, укрепленного на борштанге внутришлифовального станка, качалки, связанной с хомутом, пневмоцилиндра, демпфирующей пружины и измерительной трехконтактной головки.

Основной частью прибора является сменная (по диаметру) измерительная головка для измерения диаметра отверстия обрабатываемой детали по стрелке сегмента и хорде.

Сменная измерительная головка выполнена в виде коробки с разнесенными рычагами и соответственно вставленными в них (в зависимости от радиуса контролируемого отверстия) контактирующими наконечниками, между которыми встроен и симметрично расположен электроиндуктивный датчик ДИ-15м. В качестве отсчетного устройства используется электроиндуктивный пульт ПИ-8м, работающий с любым из датчиков ДИ-15м, встроенных в измерительные головки.

Глава 3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА

К числу основных геометрических параметров узлов и агрегатов планера летательного аппарата относятся:

— внешние обводы (погрешности ординат);

— волнистость контура поперечного или продольного сечения;

— местные дефекты контура сечения, в том числе [1] ступеньки на стыках обшивки, люков,

вмятин; величина западания и выступания головок заклепок; зазоры в стыках обшивки, люках и т. д.;

- вписываемость рулей в контур киля, элеронов, закрылков в контур крыла;
- контуры проемов люков;
- зазоры между кромками крыла и лобиком элеронов и закрылков, килем и лобиком руля поворота, стабилизатором и лобиком рулей. высоты;
- углы отклонения элеронов, закрылков, рулей;
- ножницы между триммером и элеронами, закрылками и законцовкой крыла;
- расположение сечений в пространстве;

— размещение основных стыковочных узлов на агрегатах и их размеры.

Конструктор, учитывая поставленные техническим заданием требования к разрабатываемому узлу, должен предусматривать:

— оснащенность производства контрольно-измерительными средствами и измерительным оборудованием;

— технические возможности контрольно-измерительных средств (или контрольного оборудования), на которых будет осуществляться контроль внешних обводов или волнистости контура поперечного или продольного сечения (см. таблицу);

Контролируемые параметры	Средства контроля	Ожидаемая погрешность, мм
Внешние обводы (погрешности ординат)	1. Эквидистантные накладки шаблоны, клиновой щуп и мерные пластины	$\pm 2,5$ для обводов с большой кривизной; $\pm 0,25$ для обводов с малой кривизной
	2. Эквидистантные шаблоны, установленные в сборочных стапелях, клиновой щуп и мерные пластины	$\pm 1,5$ для обводов с большой кривизной; $\pm (0,15-0,2)$ для обводов с малой кривизной
	3. Измерительные стенды, клиновой щуп, мерные пластины	$\pm (1,5-0,5)$
	4. Оптико-лазерные измерительные системы	$\pm (0,4-1,2)$
	5. Трехкоординатные измерительные машины	Согласно технической характеристике соответствующей модели
Волнистость контура поперечного или продольного сечения	Трехкоординатные измерительные машины	—
Местные дефекты контура сечения: а) ступеньки на стыках обшивки и люков, вмятины; б) величина западания и выступания головок заклепок; в) зазоры в стыках обшивки, люках и т. п.	Индикаторный прибор.	$\pm 0,033$
	Линейка, щуп	$\pm (0,04-0,05)$
	Индикаторный прибор	$\pm 0,033$
	Пластиночный щуп	$\pm 0,05$
Вписываемость рулей, элеронов, закрылков	Линейка, клиновой щуп. Шаблон, клиновой щуп	$\pm (0,7-1,7)$
Контуры проемов люков	Макет люка, шаблон, щуп, измерительные машины	$\pm 0,5$
Зазоры между кромками крыла, киля, стабилизатора и элеронами, закрылками, рулями	Клиновой щуп, мерные пластины, специальный калибр	$\pm 0,1$
Расположение сечений агрегатов в пространстве, в том числе: — углы отклонения элеронов, закрылков, рулей; — ножницы между элеронами, закрылками и крылом.	Нивелировочный стенд, оптико-лазерные измерительные системы	$\pm (0,3-2)$
Расположение основных стыковых узлов на агрегатах и их стыковые размеры	Фиксаторы сборочных стапелей, калибры	—
	Фиксаторы контрольных стендов и калибры	—

— контролепригодность разрабатываемого узла и входящих в него деталей с позиций возможности измерения нормируемых параметров с допускаемой погрешностью, с учетом наличия измерительных баз и свободного доступа к контролируемым поверхностям;

— возможность приобретения измерительных средств, в том числе импортных, для метрологического обеспечения производства на различных этапах производства (при изготовлении опытного образца, выпуске установочной партии, в серийном производстве) и в процессе его последующей эксплуатации;

— возможность применения специальных опорных баз при контроле ординат профиля поперечного сечения агрегата или узла с помощью накладных эквидистантных шаблонов.

В таблице приведены также перечень основных геометрических параметров узлов и агрегатов планера самолета, подлежащих контролю, и средства контроля.

Наиболее распространенным методом контроля погрешностей ординат профиля поперечного сечения агрегата или узла является контроль с помощью накладных эквидистантных шаблонов. Данный метод заключается в том, что на агрегат устанавливается контршаблон с рабочей поверхностью, эквидистантной теоретическому контуру. Зазор между шаблоном и агрегатом распределяется примерно равномерно, для чего на шаблоне имеются установочные упоры.

Погрешность действительного контура сечения определяется путем измерения зазоров между шаблоном и поверхностью агрегата.

Основное преимущество этого метода — его простота. Однако метод имеет ряд недостатков, основными из которых являются:

1) отсутствие базы для надежной установки шаблона на агрегат. Погрешность измерения, возникающая вследствие погрешности установки шаблона, находится в функциональной зависимости от погрешности профиля измеряемого агрегата и его кривизны;

2) неудобство работы при больших размерах агрегатов, возникающее вследствие громоздкости и нежесткости шаблона, что приводит к погрешности измерения, превышающей погрешность изготовления агрегата.

Указанные недостатки уменьшаются путем монтажа шаблонов в сборочном стапеле или на измерительном стенде, так как в этом случае и шаблон и контролируемый агрегат устанавливаются по определенным материальным базам.

Однако контроль крупногабаритных агрегатов с помощью шаблонов (даже в стенде) нерационален, так как при большой длине шаблонов трудно достигнуть выполнения их с большой точностью и избежать их деформаций.

Для контроля обводов тяжелых машин следует применять прецизионный нивелир, трехкоординатные измерительные машины или лазерные центрирующие системы.

Схема измерения внешних обводов агрегатов с помощью нивелира приведена на рис. XVII.3.1. Нивелир выставляется так, чтобы расстояния от

крайних измеряемых сечений были примерно одинаковыми, а расстояние до ближайшего измеряемого сечения были не менее 3 мм.

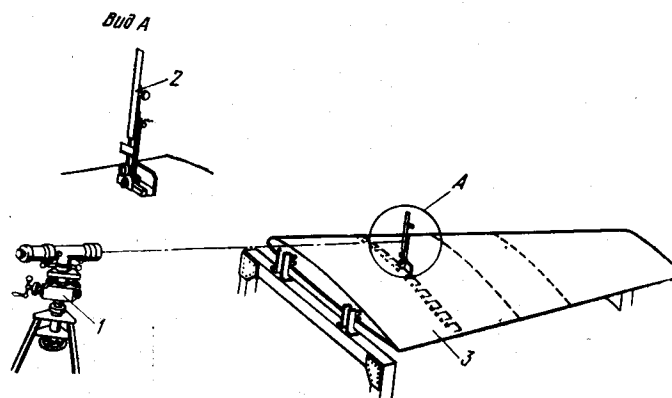


Рис. XVII.3.1. Схема измерения внешних обводов агрегатов с помощью нивелира:

1 — нивелир; 2 — передвижная рейка; 3 — измеряемый агрегат.

Посредством оптической системы нивелира, выставленного в горизонтальное положение, создается визирная линия, которая является измерительной базой и относительно которой производятся измерения. Ординаты измеряют по рейке, устанавливаемой в точки поверхности, подлежащие контролю. Измеренные координаты сравнивают с теоретическими.

По результатам измерения ординат действительного контура сечения графически можно определить погрешности положения сечения, то есть величину параллельного смещения или его закрутку.

Результаты измерения ординат обрабатываются следующим образом. По оси y в увеличенном масштабе откладываются отклонения действительного профиля от номинального Δh , а по оси x — в уменьшенном масштабе (в % хорды). На график накладывается прозрачная линейка с нанесенным на ней полем допуска на контур сечения (рис. XVII.3.2). Линейку накладывают на график



Рис. XVII.3.2. График обработки результатов измерения ординат контура сечения.

таким образом, чтобы погрешности контура примерно равномерно распределялись относительно осевой линии линейки. Расстояние, или угол α , между осью графика и осью линейки покажет соответственно величину параллельного смещения, или его закрутку.

К числу местных дефектов относятся:

1. Ступеньки на стыках обшивки, на стыках люков, вмятины и т. п.

Указанные дефекты контролируют индикаторными приборами (рис. XVII.3.3) или визуально с помощью линейки на просвет.

2. Величина западания или выступания головок заклепок.

Данный дефект контролируют индикаторными приборами, показанными на рис. XVII.3.4.

3. Зазоры в стыках обшивки, люках и т. п. Дефект контролируют обычно пластинчатыми или клиновыми щупами.

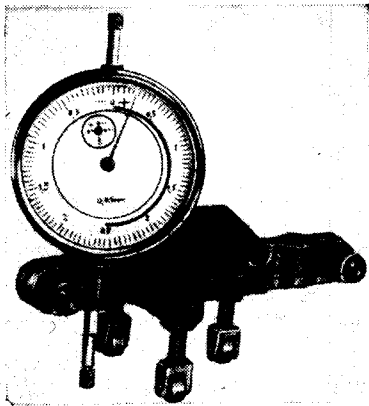


Рис. XVII.3.3. Прибор для контроля ступенек на стыках обшивки.

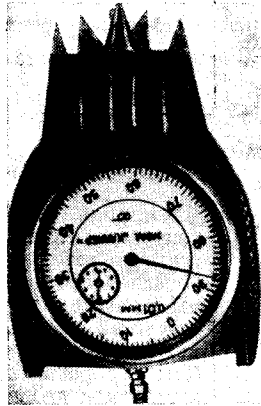


Рис. XVII.3.4. Прибор для измерения величины западания или выступания головок заклепок.

Вписываемость рулей, элеронов, закрылков контролируется с помощью линеек или шаблонов. Шаблон или линейку накладывают на основной агрегат в проверяемом сечении и проверяют визуально или щупом отклонение элеронов, закрылков, рулей.

Погрешность измерения зависит от погрешности основного агрегата и длины плоскости линейки или шаблона на основном агрегате. График такой зависимости показан на рис. XVII.3.5. Контроль расположения сечений агрегатов в пространстве производится в контрольных стендах или с помощью нивелиров.

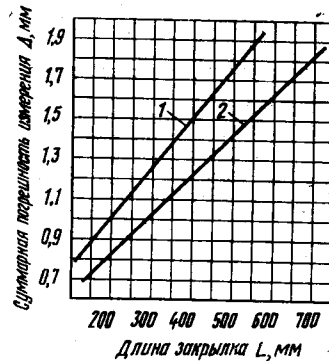


Рис. XVII.3.5. График изменения погрешностей измерения вписываемости рулей, элеронов, закрылков в зависимости от их длины при погрешности основного агрегата 0,5 мм:

1 — при длине линейки на основном агрегате 200 мм;
2 — при длине линейки на основном агрегате 300 мм.

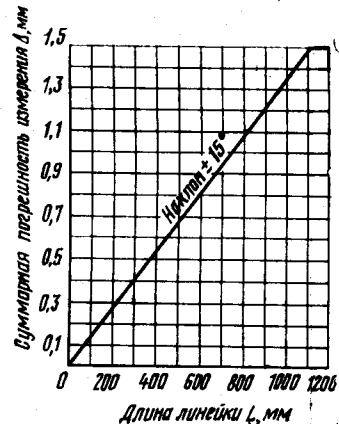


Рис. XVII.3.6. График изменения погрешностей измерения нивелиром в связи с наклоном линейки в зависимости от ее длины.

Основной составляющей погрешности измерения при нивелировке является погрешность, связанная с наклоном линейки, по которой производится отсчет координат. Зависимость погрешности измерения от длины линейки показана на рис. XVII.3.6. Исходя из данных приведенного графика рекомендуется линейку устанавливать при нивелировке по уровню или по отвесу.

Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

К погрешностям расположения поверхностей относятся погрешности:

- расстояния между центрами отверстий;
- несоосности;
- радиального биения;
- торцового биения;
- взаимного расположения пересекающихся плоскостей.

Точность расположения поверхностей, по которым производится сопряжение деталей, является одним из факторов, влияющих на взаимозаменяемость деталей. Поэтому конструктор, учитывая степень взаимозаменяемости деталей в проектируемом узле в зависимости от характера требований, предъявляемых к точности расположения поверхностей, должен помнить, что отклонения расположения поверхностей могут ограничиваться:

- независимыми допусками расположения;
- условиями собираемости.

В соответствии с этим и решается вопрос о методике контроля.

В первом случае для работы сопряжения важно, чтобы погрешность в расположении поверхностей была ограничена сама по себе вне связи с допуском на поверхность и рассчитывалась только с учетом зазоров между сопрягающимися деталями.

Во втором случае погрешности в расположении поверхностей могут быть расширены за счет использования допусков на размеры самих поверхностей. При этом контроль размеров расположения поверхностей осуществляется только в целях проверки обеспечения «собираемости» деталей узла и может производиться пространственными калибрами. Данный метод контроля наиболее рационален, так как позволяет автоматически учитывать комплексное сочетание отклонений размеров, определяющих расположение поверхностей и их размеров.

Контроль размеров, определяющих расположе-

ние поверхностей сложной формы, то есть имеющих ряд сопряженных поверхностей, производится с помощью комплекта пространственных калибров, применяемых последовательно в зависимости от процесса изготовления детали и от баз простановки размеров.

Примеры расчетов и проектирования пространственных калибров приводятся в РТМ 754—54 (НИАТ) «Калибры пространственные для контро-

ля размеров, определяющих расположение поверхностей деталей. Расчет и проектирование».

Для контроля расположения поверхностей, ограниченных независимыми допусками, применяются универсальные или специальные приборы и приспособления. Рекомендации по контролю расстояний между осями отверстий для этого случая приведены в таблице.

Средства контроля	Предельная погрешность метода контроля, мкм	Продолжительность одного измерения, мин	Инстанция контроля	Основные преимущества и недостатки	Рекомендации по использованию
<i>Предельные калибры</i>					
Жесткие калибры-скобы и специальные, а также предельные калибры	—	—	Цех	Контроль скобами высокопроизводителен, но недостаточно точен, так как при большом соотношении суммы допусков на диаметры отверстий к допуску на межосевое расстояние могут быть забракованы годные детали или пропущен брак	Предельные калибры могут рекомендоваться в тех случаях, когда соотношение суммы допусков на диаметры отверстий к допуску на расстояние между осями отверстий не превышает $\frac{\delta_{r1} + \delta_{r2}}{\delta L} < 1$
Жесткие калибры в сочетании с цилиндрическими оправками	14	20—30	Цех	Контроль малопроизводителен и требует наличия набора точных цилиндрических оправок с разницей по диаметру в несколько микрон. Погрешность измерения резко возрастает при смещении линии измерения от торца детали	Жесткие калибры в сочетании с цилиндрическими оправками могут быть использованы при наличии комплекта оправок с разницей в диаметрах не более 0,005 мм
Жесткие калибры в сочетании с коническими оправками	12	15—20	Цех	Контроль более производителен и точен по сравнению с предыдущим, но при аттестации конических оправок в определенных сечениях возможны грубые ошибки Для контроля глухих отверстий этот метод непригоден	В связи с тем, что точные измерения конических оправок в условиях цеха затруднены, данным способом в цеховых условиях пользоваться не рекомендуется
<i>Механические средства измерений</i>					
Индикаторные приборы в сочетании с оправками	25	—	Цех	Индикаторные приборы в сочетании с оправками дают большую производительность, но имеют большую погрешность	Могут быть использованы при измерении межцентровых расстояний не менее 100 мм
Специальные штангенциркули	60	1,5	Цех	Штангенциркули удобны и производительны в работе	Рекомендуются для измерения межцентровых расстояний с допуском 0,1 мм
Индикаторные приборы с переключающимися измерительными оправками	17	5	Цех	Индикаторные приборы с переключающимися и особенно самоцентрирующимися оправками являются наиболее производительными цеховыми сортировочными средствами	Рекомендуются для сортировки деталей на группы с допуском не менее 0,02 мм
Индикаторные приборы с самоцентрирующимися переключающимися оправками	18	4	Цех	—	—

Средства контроля	Предельная погрешность метода контроля, мкм	Продолжительность одного измерения, мин	Инстанция контроля	Основные преимущества и недостатки	Рекомендации по использованию
<i>Оптико-механические и оптические средства измерений</i>					
Универсальный микроскоп с оптическим нутромером	5,5	18	ЦИЛ	Точный лабораторный способ для измерения межосевых расстояний глубоких и сквозных отверстий	Рекомендуется для выборочного контроля в лабораторном контроле в лаборатории эталонных деталей
Универсальный микроскоп со штриховой головкой	8,5	6	ЦИЛ	То же	То же
Универсальный микроскоп с головкой двойного изображения	Для сквозных отверстий диаметр 1,5 мм, для глухих отверстий 8 мм	6	ЦИЛ	Головка двойного изображения обеспечивает точный контроль отверстий диаметром до 14 мм	Рекомендуется для выборочного контроля в лабораторных условиях для отверстий диаметром не более 14 мм
<i>Пневматические методы контроля</i>					
Пневматический прибор для измерения межцентровых расстояний от 10 до 100 мм	3	3—4	Цех	Прибор точен и производителен. Обеспечивает измерение межосевого расстояния отверстий от 10 до 100 мм, диаметр — от 10 до 50 мм при глубине до 40 мм	Рекомендуется для измерения деталей с допусками на расстояния между осями отверстий до 0,01 мм

Метод измерения расстояний между осями отверстий с помощью цилиндрических оправок заключается в том, что в отверстия вводятся специальные аттестованные оправки и расстояние между ними измеряется с помощью концевых мер или других измерительных инструментов (скобы, штангенциркуля, микрометра и т. п.). Иногда вместо цилиндрических оправок применяют конические. Конусность оправок выбирают равной от 1/1000 до 1/10000, чтобы перекося оправок в отверстиях давал минимальную погрешность измерения. Желательно, чтобы длина оправок обеспечивала выбор зазоров между оправками и отверстиями при разных размерах отверстий, лежащих в пределах допуска. Вместо универсальных измерительных инструментов для измерения расстояния между оправками применяются различные индикаторные приборы. Один из таких приборов показан на рис. XVII.4.1.

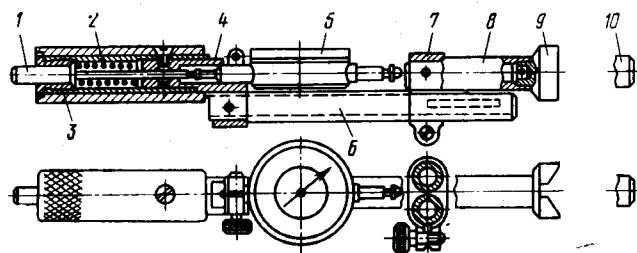


Рис. XVII.4.1. Прибор для измерения расстояния между оправками:

1 — измерительный наконечник; 2 — пружина; 3 — втулка; 4, 7 — обоймы; 5 — индикатор; 6 — соединительная труба; 8 — упорный наконечник; 9 — призма; 10 — цилиндрическая пробка.

Подвижной измерительный наконечник 1 под действием пружины 2 прижимается к поверхности оправки, вставленной в одно из отверстий детали, а другим концом упирается в стержень индикатора. С помощью обоймы 4 прибор закрепляется на соединительной трубе 6. На другом конце трубы через обойму крепится упорный наконечник 8 с призмой 9 или цилиндрической пробкой 10.

Специальный штангенциркуль (рис. XVII.4.2)

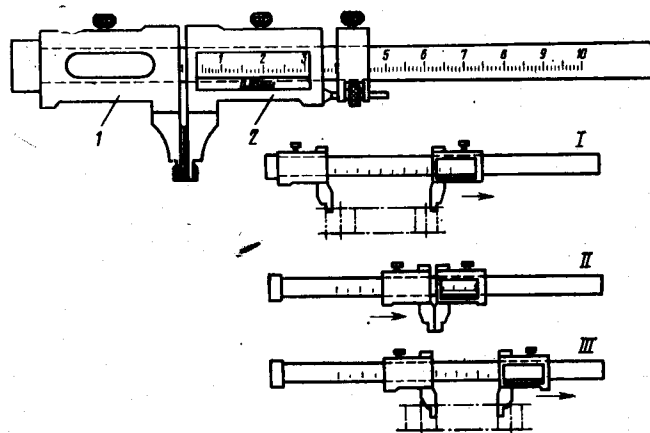


Рис. XVII.4.2. Специальный штангенциркуль:

1 — левая ножка; 2 — правая ножка с нониусом; I, II, III — соответственно первая, вторая и третья операции измерения.

предназначен для контроля межосевых расстояний от 10 до 100 мм. Величина отсчета по нониусу 0,05 мм, толщина губок 10 мм.

В отличие от обычных специальный штангенциркуль имеет такую цифровку основной шкалы, что 20 мм шкалы соответствуют 10 мм отсчета, то

есть шкала растянута. Для того, чтобы размер губок вошел в контролируемый размер без пересчета при крайнем левом положении 1 и сжатых губках, нулевое деление нониуса должно совпадать с десятым делением штанги.

Процесс измерения заключается в следующем: левая ножка неподвижна, правая устанавливается на размер между наиболее удаленными образующими отверстий. Правая ножка неподвижна, левая освобождается и подводится к правой. Левая ножка неподвижна, правая устанавливается на размер между ближайшими образующими отверстий. В этом положении снимается отсчет по шкале, определяющей расстояние между осями отверстий. Вследствие того, что шкала растянута, никаких пересчетов делать не требуется.

Индикаторные приборы с переключающимися оправками, цилиндрическими или самоцентрирующимися, являются наиболее производительными и точными. Пример прибора с переключающимися цилиндрическими оправками показан на рис. XVII.4.3.

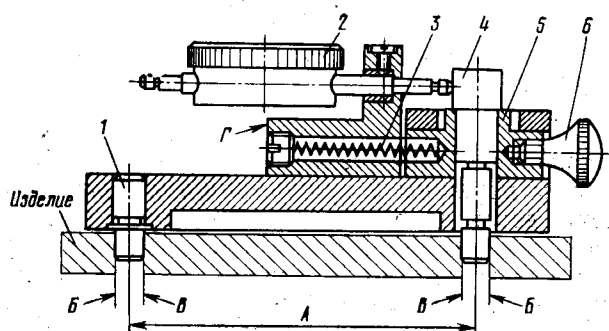


Рис. XVII.4.3. Индикаторный прибор с переключающимися оправками для контроля расстояния между осями отверстий:

1 — неподвижная измерительная оправка; 2 — индикатор; 3 — пружина; 4 — подвижная измерительная оправка; 5 — каретка; 6 — рукоятка; A — межцентровое расстояние.

Прибор имеет две измерительные оправки: неподвижную 1, помещенную в корпусе, и подвижную 4, закрепленную на каретке 5. Перемещение подвижной оправки через каретку передается на индикатор. В процессе измерения подвижная оправка с помощью рукоятки 6 перемещается, последовательно касаясь сторон B и B' отверстий. По индикатору снимается два отсчета. Полуразность отсчетов определяет величину отклонения искомого расстояния от образцовой детали, по которой настраивается прибор. При наличии в приспособлении самоцентрирующихся оправок не требуется производить их переключение, а следовательно, и пересчет результатов измерений.

По такому же принципу построены и пневматические приборы для контроля межосевых расстояний. Подробное описание приборов приведено в справочнике для проектирования контрольно-измерительных приборов, применяемых в агрегат- и приборостроении. Приборы для контроля положения

поверхностей принципиально не отличаются от приборов для контроля расположения осей отверстий. Несоосность отверстий определяется как расстояние между осями поверхностей вращения в заданном поперечном сечении (перпендикулярном к одной из осей) или в любом поперечном сечении в пределах всей длины проверяемых поверхностей. Для деталей типа валков несоосность может быть выявлена в результате измерения радиального биения.

Радиальное биение, являющееся результатом несоосности и погрешности формы в поперечном сечении, рассчитывается как разность между наибольшим и наименьшим расстояниями точек проверяемой поверхности от оси базовой поверхности или оси центра в заданном поперечном сечении или в любом сечении в пределах длины проверяемой поверхности.

Радиальное биение изделий типа валков проверяется в центрах, а изделий типа втулок — путем установки их на цилиндрические, разжимные самоцентрирующиеся или конусные оправки либо путем измерения разностенности.

Торцовое биение (неперпендикулярность торцов к оси) вычисляется как разность наибольшего и наименьшего расстояний точек поверхности торца от плоскости, перпендикулярной к оси вращения на заданном диаметре или на наибольшем диаметре поверхности торца, если диаметр измерения не задан.

Величина торцового биения измеряется по отсчетному устройству, установленному на заданном расстоянии от оси изделия, при вращении последнего на 360° относительно соответствующей заданной базовой поверхности или осей центров, при этом изделие ограничивается от осевых перемещений. Типовые схемы контроля торцового биения показаны на рис. XVII.4.4.

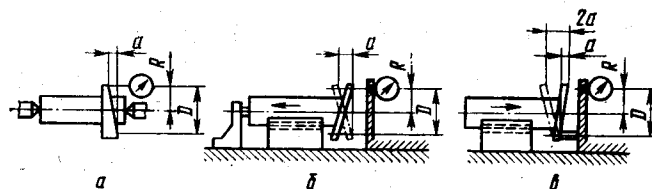


Рис. XVII.4.4. Схемы контроля биения торца относительно:

а — осей центровых отверстий; б — валика, установленного в призме; в — валика, установленного в призме; упор расположен на радиусе R.

Несоосность поверхностей, расположенных на большом расстоянии друг от друга, может быть определена с помощью нивелиров НА-3 или НА-1 и целевых знаков. Схема такого контроля приведена на рис. XVII.4.5.

Отклонение от параллельности плоскостей изделия определяется путем измерения:

1) расстояний от плоскости изделия до поверхности плиты, на которой устанавливается изделие, с помощью индикатора на стойке;

2) угла наклона плоскостей относительно плоскости плиты с помощью уровня;

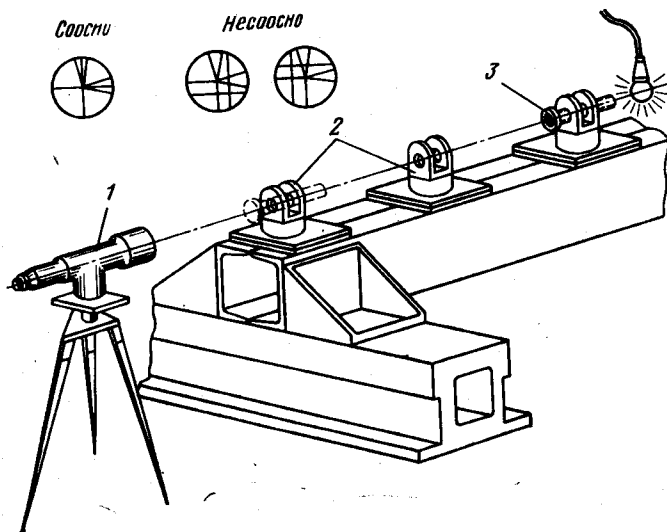


Рис. XVII.4.5. Схема контроля соосности отверстий с помощью нивелира:

1 — нивелир; 2 — фиксаторы; 3 — целевой знак.

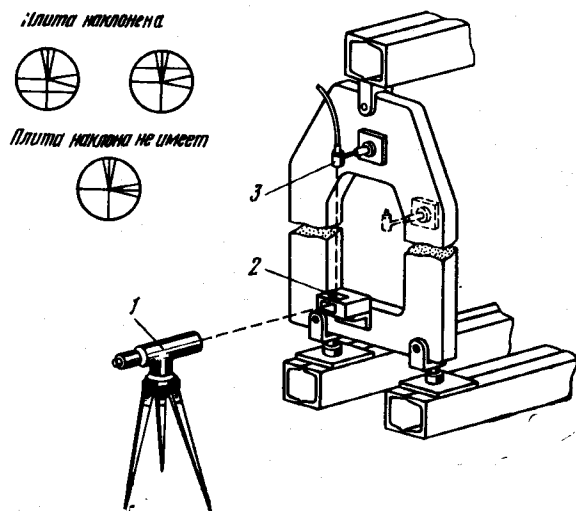


Рис. XVII.4.6. Схема измерения отклонений от перпендикулярности плоскостей с помощью нивелира:

1 — нивелир; 2 — пентапризма; 3 — стойка с маркой.

3) угла наклона плоскостей с помощью оптических приборов: автоколлиматора и нивелира (при больших габаритах изделия).

Измерение отклонений от перпендикулярности плоскостей на небольших изделиях осуществляется с помощью угломеров, угольников, индикаторов, а на изделиях с большой протяженностью плоскостей — с помощью автоколлиматора, нивелира и пентапризмы. Схема такого контроля показана на рис. XVII.4.6 и XVII.4.7. Погрешность метода контроля оптическими приборами не превышает $\pm 0,1$ мм.

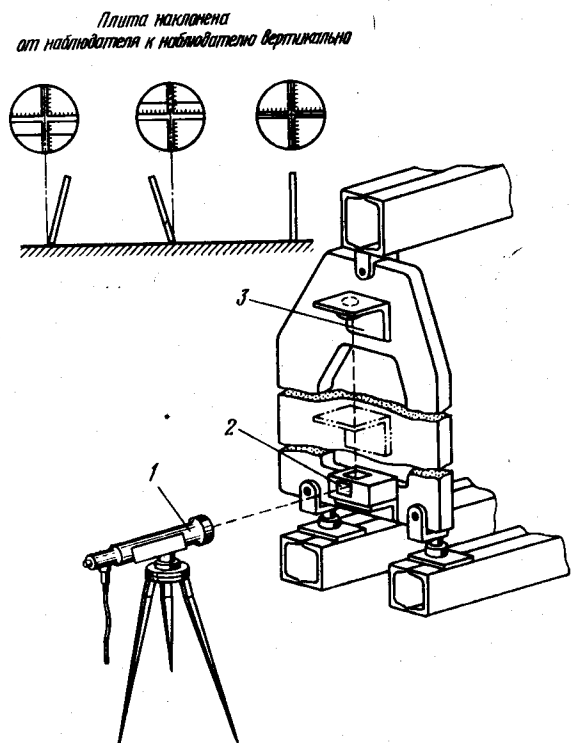


Рис. XVII.4.7. Схема измерения отклонений от перпендикулярности плоскостей автоколлиматором:

1 — автоколлиматор; 2 — пентапризма; 3 — подставка с отражающим стеклом.

При наличии трехкоординатных измерительных машин указанные задачи контроля могут быть решены комплексно (см. главу 5).

Глава 5. ТРЕХКООРДИНАТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Промышленные трехкоординатные машины представляют собой устройства, обеспечивающие в пространственной системе координат x , y и z определение (фиксацию) измеряемой точки с учетом масштабов, предусмотренных для каждой соответствующей оси.

К числу основных причин, обусловивших в последние годы ускоренное развитие промышленных трехкоординатных измерительных машин, необходимо отнести:

а) расширение количества и номенклатуры выпускаемых изделий, контроль которых немаловажен в лабораторных условиях, где, как правило, поддерживаются постоянные влажность и температура и используется труд высококвалифицированных специалистов;

б) повышение роли организации методов измерений и возникновение необходимости улучшения окружающих производственных условий;

в) повышение требований к точности изготавливаемых изделий в целях исключения вносимых человеком погрешностей измерения и считывания показаний;

г) необходимость не только в использовании проходных и непроходных калибров, но и в учете выбора диапазона размеров при селективной сборке деталей;

д) нехватка рабочей силы и высокая стоимость труда квалифицированных рабочих (контролеров).

Использование трехкоординатных измерительных машин в зарубежной практике показало, что они гарантируют повышение производительности и качества контроля, а также позволяют отказаться от большого объема специальной оснастки, требующей больших затрат, причем значительных, на проектирование, изготовление и ремонт.

В настоящее время предприятия отрасли оснащаются трехкоординатными измерительными машинами фирм Olyvetti и «ДЕА» (Италия).

К настоящему времени фирма «ДЕА» выпускает пять типов трехкоординатных измерительных машин: Alpha-3d (рис. XVII.5.1), Delta-3d (рис. XVII.5.2), Beta-3d (рис. XVII.5.3), Gamma-3d (рис. XVII.5.4) и Sigma-3d (рис. XVII.5.5).

Перечисленные типы трехкоординатных измерительных машин имеют ряд модификаций, явившихся следствием усовершенствования основных образцов, предназначенных для удовлетворения требований заказчиков с учетом специфики их производства.

Анализ технических данных трехкоординатных измерительных машин приводит к выводу, что наиболее приемлемыми для авиационной промышленности являются модели Gamma-3d и Alpha-3d. В частности, трехкоординатные измерительные машины модели Alpha-CC предназначены для Казанского авиационного завода им. С. П. Горбунова и Ташкентского авиационного объединения им. В. П. Чкалова, а модели Delta — для Московского вертолетного завода имени Миля.

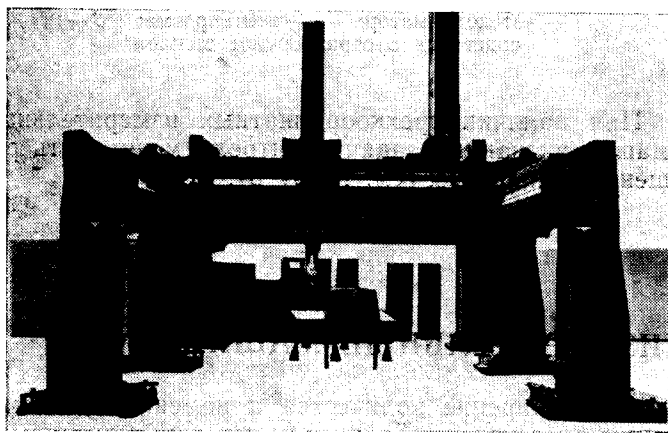


Рис. XVII.5.1. Координатно-измерительная машина модели Alpha-3d.

Каждая из указанных моделей конструктивно представляет собой порталную конструкцию, позволяющую производить измерения в направлениях, совпадающих с осями пространственной системы

координат и оснащенную электронной аппаратурой для обеспечения широких возможностей использования.

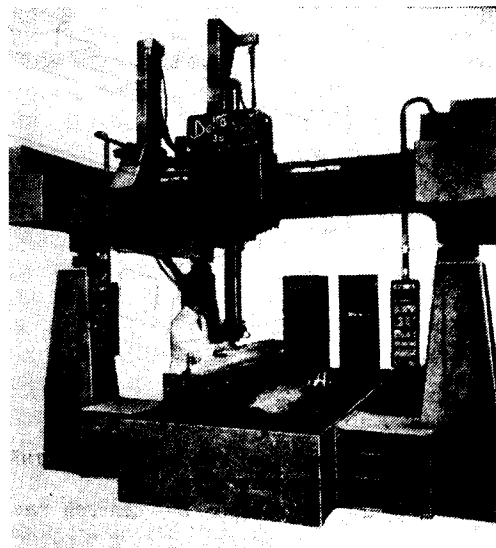


Рис. XVII.5.2. Координатно-измерительная машина модели Delta-3d.

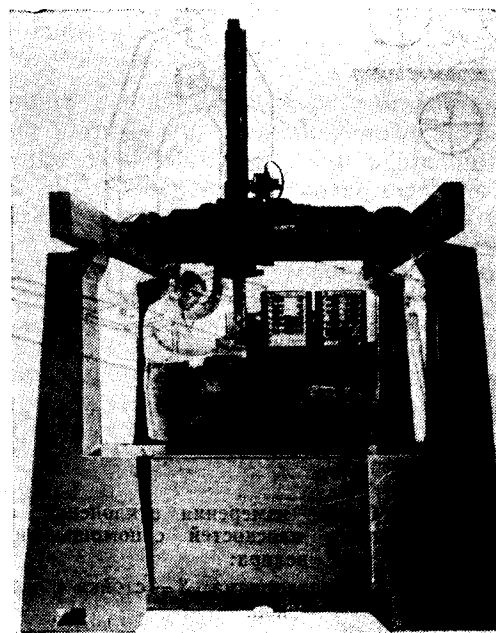


Рис. XVII.5.3. Координатно-измерительная машина модели Beta-3d.

Электронная аппаратура, выполненная на интегральных схемах, состоит из блоков, что позволяет наращивать аппаратуру в соответствии с потребностями эксплуатации трехкоординатной измерительной машины.

В настоящее время уже созданы комплекты электронного оборудования, позволяющие:

- обеспечивать автоматическое и полуавтоматическое обследование сечений и профильных линий;
- производить контроль сравнением с программой с регистрацией данных цифropечатающим устройством;

— производить контроль сравнением с эталоном с регистрацией данных;

— готовить программы для станков с ЧПУ по заданной величине аппроксимации путем «ощупывания» модели; процесс автоматический, управляемый ЭВМ;

— готовить перфоленты считыванием непосредственно с чертежа.

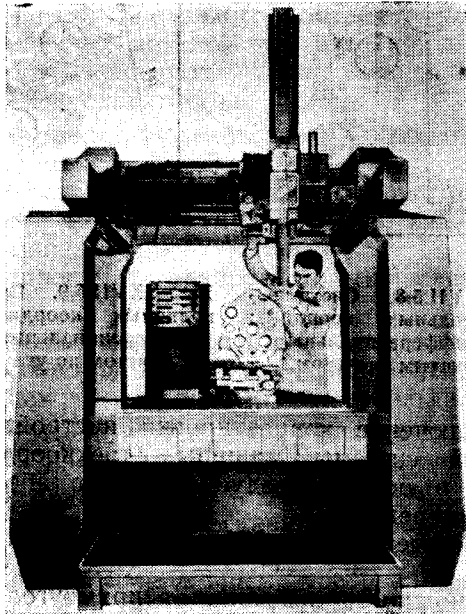


Рис. XVII.5.4. Координатно-измерительная машина модели Gamma-3d.

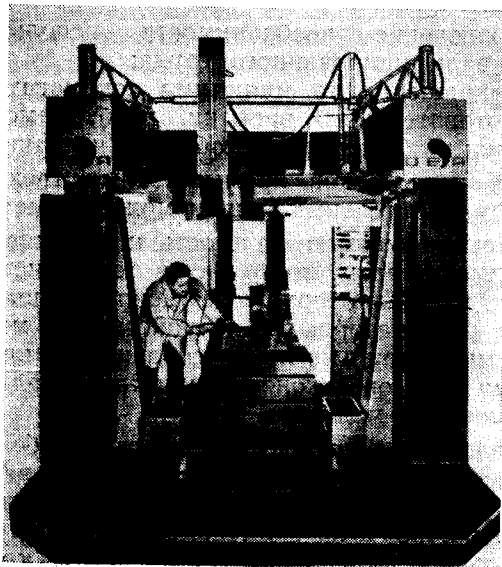


Рис. XVII.5.5. Координатно-измерительная машина модели Sigma-3d.

Электронная аппаратура дает возможность микропозиционирования по всем осям после блокировки перемещений, позволяет устанавливать нулевую точку отсчета в удобном для измерения положении и блокировать показания визуализаторов,

что является чрезвычайно важным при смене инструмента.

Комплект приспособлений к трехкоординатным измерительным машинам модели Gamma-3d обеспечивает возможность контроля всего перечня технических условий, предъявляемых к выполнению деталей по геометрии, проверки самой измерительной машины и выверки детали при ее установке.

Благодаря высокой точности трехкоординатные измерительные машины модели Gamma-3d применяются в основном для измерения и статистического контроля обработанных деталей в измерительных лабораториях заводов по производству штампов, двигателей самолетов, вооружения, электронного оборудования, прецизионных оптических приборов.

Трехкоординатные измерительные машины могут быть использованы при производстве технологической оснастки.

Контроль технологической оснастки в цехах подготовки производства заключается в соответствии реальных аэродинамических обводов теоретически заданным.

При существующем методе контроля роль жестких носителей теоретически заданных аэродинамических обводов (форм) выполняют плазы, шаблоны. При этом методе осуществляется только относительный контроль оснастки, так как средства контроля (шаблоны, плазы) содержат в себе погрешность изготовления.

Использование контрольно-измерительных машин позволит проконтролировать всю обработанную поверхность в любой точке поверхности изделия. С помощью трехкоординатных измерительных машин могут быть проверены (аттестованы, проконтролированы):

- шаблоны, в том числе шаблоны ШКК, ШМФ, ШКС шпангоутов фюзеляжа, обтекателя, мотогондол, шаблоны ШКК нервюр крыла, оперения, закрылков, элеронов, шаблоны ШМФ, ШКС, ШВК, ШК на элементы крыла и оперения;

- рубильники стапеля общей сборки фюзеляжа и сборки панелей фюзеляжа, рубильники стапеля сборки центроплана, подфюзеляжной части центроплана, закрылков, элеронов, стабилизаторов, кия, ОЧК, РВ и РН, рубильники стапелей общей сборки фюзеляжа, мотогондол, кабины пилотов, рубильники и ложементы приспособлений для сборки панелей законцовок, зализов;

- формблоки нервюр центроплана, шпангоутов, мотогондол, фюзеляжа, формблоки носовой части нервюр крыла и оперения, формблоки нервюр дефлекторов хвостовиков нервюр крыла, закрылков, элеронов, РН и РВ;

- оправки (обтяжные пуансоны для профилей);

- мастер-плиты;

- обтяжные пуансоны обшивок панелей фюзеляжа, мотогондол, люков;

- обтяжные пуансоны обшивок мотогондол, зализов, обтекателей;

- обтяжные пуансоны обшивок части крыла, закрылков, элеронов, кия, стабилизатора;

- доводочные болванки зализов, мотогондол;

- доводочные болванки обшивок щели закрылка, внутренней обшивки люков, сторон и др.;

— макеты хвостовика части фюзеляжа передней части мотогондол, антенного обтекателя;

— макеты днища отсека фюзеляжа фонаря, законцовки крыла и оперения.

Трехкоординатная измерительная машина модели Гамма-А, в частности, может быть пригодна для выполнения следующих операций:

— аттестации эталонных штампов, штампов высокой точности (с отклонением в пределах $\pm 0,05$ мм), моделей и другого инструмента второго порядка для изготовления штамповой оснастки;

— вычерчивания кривых по заданным координатам, используемых для изготовления шаблонов, копиров и для измерительных приборов;

— подготовки программ для станков с программным управлением;

— определения величины износа штампового инструмента в работах по исследованию новых конструкций и штамповых материалов.

Трехкоординатные измерительные машины могут быть использованы также в литейном производстве, что позволит повысить качество и производительность процессов контроля и разметки, а также решить значительную часть существующих проблемных вопросов.

Использование трехкоординатных машин позволяет:

— проводить измерения сечений и проверки характерных линий трехразмерных изделий вручную, полуавтоматически или с перфоленты;

— выполнять непрерывный контроль поверхностей с одновременной записью результатов измерений на перфокарту для последующего использования на фрезерных станках.

Измерительные машины, работающие по программе, могут осуществлять измерение в системе координат:

- прямоугольных (рис. XVII.5.6);
- полярных (рис. XVII.5.7);

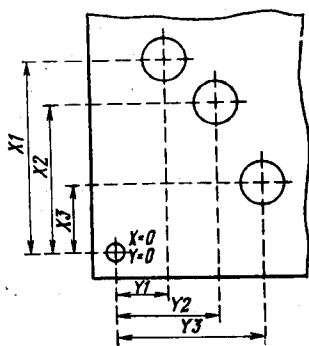


Рис. XVII.5.6. Система прямоугольных координат.

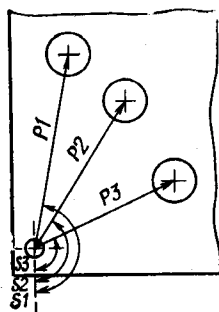


Рис. XVII.5.7. Система полярных координат.

углу данной контрольной точки от предыдущей (рис. XVII.5.9).

К числу преимуществ промышленных трехкоординатных измерительных машин необходимо отнести:

а) сокращение времени на контроль (измерение) большого количества измерительных точек;

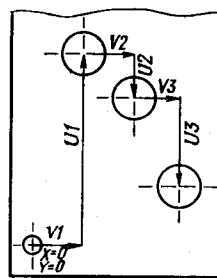


Рис. XVII.5.8. Система прямоугольных координат с дифференциальным ступенчатым отсчетом.

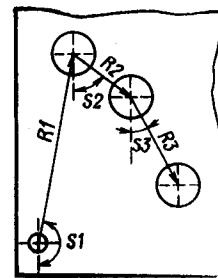


Рис. XVII.5.9. Система полярных координат с дифференциальным отсчетом по углу.

б) исключение корректировки настройки измерительной системы машины (трехкоординатные машины в основе предусматривают абсолютный метод измерения);

в) обеспечение безошибочного считывания показаний;

г) возможность перехода от прямоугольной системы координат к полярной при сопряжении с микрокомпьютером или устройством автоматического считывания;

д) возможность сокращения общего времени измерений более чем на 80% за счет уменьшения времени на вспомогательные операции;

е) исключение необходимости использования высококвалифицированного труда;

ж) сокращение до минимума вспомогательного и подготовительного времени, необходимого для установки и сборки приспособлений и индикаторов.

Среди недостатков промышленных трехкоординатных измерительных машин можно отметить:

а) весьма высокую стоимость и высокие первоначальные затраты, поскольку в большинстве случаев эти машины оборудуются координатными датчиками, индикаторными устройствами, миникомпьютерами и другими приспособлениями, присоединяемыми к базовой конструкции трехкоординатной измерительной машины;

б) большую сложность ремонта и обслуживания, поскольку их конструкция содержит не только механические, но и оптические и электронные устройства; при этом для надежной эксплуатации желательно в помещении, где находятся трехкоординатные измерительные машины, поддерживать определенную температуру и чистоту атмосферы;

в) необходимость больших производственных площадей для их установки и эксплуатации.

— прямоугольных с дифференциальным ступенчатым отсчетом данной контрольной точки от предыдущей (рис. XVII.5.8);

— полярных с дифференциальным отсчетом по

Глава 6. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ [6]

Методы контроля шероховатости поверхности разделяются на количественные и качественные. Для количественной оценки шероховатости поверхности применяются измерительные приборы (ощупывающие, оптические). Качественная оценка шероховатости поверхности производится путем сравнения с образцами.

Шероховатость подлежит контролю только на тех поверхностях деталей или изделий, для которых в технической документации установлены требования к шероховатости.

При контроле шероховатости обычно нужно узнать:

- соответствие параметров шероховатости контролируемой поверхности значениям, заданным в документации;
- пригодность поверхности в отношении шероховатости.

Определение параметров шероховатости (измерение) должно производиться в направлении, соответствующем их наибольшему значению, или в направлении, указанном в чертеже.

Значения параметров шероховатости вычисляются в сечении номинальной поверхности.

Дефекты поверхности (царапины, раковины, забоины и т. д.) должны рассматриваться особо, в соответствии со специальными требованиями, установленными в технической документации.

Требования к шероховатости поверхности устанавливаются без учета дефектов поверхности.

При контроле бракуются только те детали или изделия, у которых шероховатость поверхности:

- грубее заданной в документации;
- по числовым значениям измеренных параметров не соответствует допустимому диапазону значений по документации.

Шероховатость поверхности оценивается, или контролируется, методом:

- измерения параметров шероховатости;
- сравнения с образцами или образцовыми деталями (изделиями).

Измерение параметров с помощью специальных средств обеспечивает объективную числовую оценку шероховатости.

Такой метод оценки (контроля) шероховатости называется количественным. Сравнение исследуемой поверхности с поверхностью образца или образцовой детали не дает числовой оценки шероховатости и носит название качественного метода оценки шероховатости.

Современные средства измерения шероховатости делятся в основном на две группы: бесконтактные и контактные.

Из бесконтактных средств измерения шероховатости наиболее распространены приборы, действие которых основано на принципах светового сечения, интерференции света и применения растров.

Оптические приборы для измерения шероховатости, основанные на перечисленных принципах, соответственно условно называются ПСС, ПТС, МИИ и ОРИМ. Приборы типа ПСС, ПТС и МИИ выпускаются в соответствии с ГОСТ 9847—79 [8].

Из числа контактных наиболее распространены средства измерения, получившие название щуповых, принцип действия которых основан на ощупывании исследуемой поверхности иглой с весьма малым радиусом закругления.

Щуповые приборы для измерения шероховатости делятся на:

- профилометры, непосредственно показывающие величины измеренных параметров;
- профилографы, записывающие профиль микронеровностей поверхности.

Контактные профилометры и профилографы выпускаются в соответствии с ГОСТ 19300—73 и ГОСТ 19299—73.

К средствам качественной оценки шероховатости относятся:

- образцы шероховатости поверхности (сравнения);
- образцовые детали.

Образцы шероховатости поверхности (сравнения) изготавливаются в соответствии с ГОСТ 9378—75 и проверяются по ГОСТ 8.300—78.

Стандарт не распространяется на образцовые детали шероховатости поверхности.

Аттестацию и поверку образцов шероховатости поверхности, не нормированных ГОСТ 9378—75, проводят в соответствии с обязательным приложением 3 ГОСТ 8.300—78.

Образцовые детали, как правило, отбираются из числа производственных и аттестуются с указанием фактических величин параметров шероховатости с помощью соответствующих средств количественной оценки.

Для контроля шероховатости поверхности в местах, труднодоступных для качественной и количественной оценки (внутренних полостей, фасонных поверхностей, крупногабаритных деталей и т. д.) используется метод слепков.

Сущность метода слепков состоит в том, что на соответствующем материале фиксируется отпечаток исследуемой поверхности, копирующий ее рельеф. Шероховатость поверхности отпечатков определяется методами качественной или количественной оценки. Искажение профиля неровностей как по высоте, так и по шагу на слепках не превышает 12%.

В табл. XVII.6.1 приведены основные средства измерения и контроля шероховатости (универсального назначения) с краткими техническими характеристиками и рекомендациями по применению на различных участках производства.

В табл. XVII.6.2 приведены приборы для осмотра внутренних поверхностей.

Краткие сведения об импортных средствах контроля шероховатости поверхности представлены в табл. XVII.6.3 и XVII.6.4.

Фирма Bendix (США) выпускает профилометр типа QB, предназначенный для контроля шероховатости поверхности в труднодоступных местах.

Типы датчиков, применяемые в этом приборе, приведены в табл. XVII.6.4.

Средства измерения и контроля		Определяемые параметры	Пределы измерения		Базовые длины, мм	Геометрические формы проверяемых поверхностей	Минимальный диаметр проверяемого отверстия, мм	Предельная допускаемая погрешность, %	Место применения (рекомендуемое)	Масса, кг	Ориентировочная стоимость, руб.	Изготовитель
			$R_a; R_z;$ R_{\max} — мкм $S; S_m; t_p$ — мм	по классам			Максимальная глубина проверяемого отверстия, мм					
Профилограф-профилометр мод. 201	Профилометр	R_a	5,0—0,02	5—12	0,08; 0,25; 0,8; 2,5	Плоские, цилиндрические и конические наружные и внутренние поверхности, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию	$\frac{8}{10}; \frac{20}{100}$	± 10	БЦК	80	1500	Завод «Калибр»
	Профилограф	$R_z; R_{\max}$ $S; S_m$ t_p	100—0,025 12,5—0,003 90—10%	2—14	Весь ряд по ГОСТ 2789—73		$\frac{45}{125}$	± 4	Измерительная лаборатория			
Профилограф-профилометр мод. 252	Профилометр	R_a R_{\max} S_m t_p	100—0,02 200—0,1 12,5—0,003 90—10%	Грубее 1 до 12 1—12	0,08; 0,25; 0,08; 2,5	Те же, что у мод. 201	$\frac{3}{5}; \frac{8}{10}; \frac{20}{100};$	± 7 ± 30	БЦК	92	7640	Завод «Калибр»
	Профилограф	R_a $R_z; R_{\max}$ $S; S_m$ t_p	60—0,05* 250—0,02 12,3—0,003 90—10%	1—11 1—14	Весь ряд по ГОСТ 2789—73		$\frac{45}{125}$	± 4	Измерительная лаборатория			
Профилометр мод. 253		R_a	2,5—0,04	6—12	0,25; 0,8; 2,5	Те же, что у мод. 201 и 252	$\frac{6}{20}; \frac{16}{130}$	± 16	БЦК	12	1000	Завод «Калибр»
Профилометр мод. 283		R_a	10—0,02	4—12	0,25; 0,8	Те же, что у мод. 201, 252 и 253	$\frac{6}{20}; \frac{16}{130}$	± 16	БЦК	23	2030	Завод «Калибр»
Двойной микроскоп МИС-11**		$R_z; R_{\max}$ $S; S_m$	80—0,8 2,5—0,003	3—9	0,8; 0,25; 2,5; 8	Плоские, цилиндрические и конические наружные поверхности. Внутренние — после разрезки		$\pm 8-24$	БЦК. Измерительная лаборатория	2		ЛОМО
Прибор светового сечения ПСС-2**		$R_z; R_{\max}$ $S; S_m$	40—0,8 2,5—0,002	4—9	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01	Те же, что у мод. МИС-11		$\pm 8-24$	БЦК. Измерительная лаборатория	35	1650	ЛОМО

Прибор теневого сечения ПТС-1	$Rz; R_{\max}$ $S; S_m$	320—40 6,3—0,02	1—3	8; 2,5; 0,8; 0,25	Те же, что у мод. МИС-11 и ПСС-2	± 15	БЦК	2	450	ЛОМО
Прибор теневого сечения ТСП-4М**	$Rz; R_{\max}$ $S; S_m$	1600—63 6,3—0,1		8; 2,5; 0,8; 0,25	Те же, что у мод. МИС-11; ПСС-2 и ПТС-1	± 10	БЦК	2		Укр- НИИМОД
Растровый микроскоп ОРИМ-1**	$Rz; R_{\max}$ $S; S_m$	40—0,4 2,5—0,002	4—10	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01	Те же, что у мод. МИС-11; ПСС-2 и ПТС-1	$\pm 10—30$	БЦК. Измери- тельная ла- боратория	20	1840	ЛОМО
Микроинтерферометр МИИ-4	$Rz; R_{\max}$ $S; S_m$	0,8—1,0 0,25—0,002	10—12	0,25; 0,08; 0,03; 0,01	Плоские, цилиндриче- ские и конические на- ружные поверхности. Внутренние — после раз- резки	$\pm 15—30$	БЦК. Измери- тельная ла- боратория	24	265	ЛОМО
Микроинтерферометр МИИ-9	$Rz; R_{\max}$ $S; S_m$	0,8—0,1 0,25—0,002	10—12	0,25; 0,08; 0,03; 0,01	То же	$\pm 15—30$	БЦК. Измери- тельная ла- боратория	24	520	ЛОМО
Микроинтерферометр МИИ-10	$Rz; R_{\max}$ $S; S_m$	10—0,1 0,8—0,002	6—12	0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01	Наружные и внутрен- ние поверхности слож- ной конфигурации, до- ступные для снятия реп- лик	$\pm 15—30$	БЦК. Измери- тельная ла- боратория	24	700	ЛОМО
Микроинтерферометр МИИ-12	$Rz; R_{\max}$ $S; S_m$	0,8—0,1 0,25—0,002	10—12	0,25; 0,08; 0,03; 0,01	Плоские, цилиндриче- ские и конические на- ружные поверхности. Внутренние — после раз- резки	$\pm 15—30$	БЦК. Измери- тельная ла- боратория	23	1200	ЛОМО
Образцы шероховато- сти поверхности сравне- ния	Ra	25,0—0,25	2—12	8,0; 2,5; 0,8; 0,25	Плоские, цилиндриче- ские и другие формы на- ружных и внутренних поверхностей	$\pm 0,5$ класса	Рабочее место (ста- нок). БЦК			
Образцовые детали		Во всем диа- пазоне по ГОСТ 2789—73	Грубее 1 по 14	Весь ряд по ГОСТ 2789—73	Наружные и внутрен- ние поверхности любой формы	$\pm 0,5$ класса	Рабочее место (ста- нок). БЦК			

* Значения параметра приведены ориентировочно и зависят от конкретной поверхности.

** Возможно измерение параметров Ra и t_p , но очень трудоемко.

Приборы для осмотра внутренних поверхностей

Параметр прибора	РВП-478	РВП-467	РВП-463	РВП-467	РВП-464	РВП-469	РВП-465	РВП-452	РВП-451	РВП-466	РВП-456	РВП-461	РВП-489
Диаметр отверстия исследуемой детали, мм	9—12	9—15	9—15	15—30	15—37	15—37	18,6	24—30	38—60	45—101,6	50—350	60—80	65
Глубина наблюдения, м:													
максимальная	4	4,2	5,2	2,1	8,2	4,2	3,7	7,5	7,5	10,5	6	16,5	16
минимальная	4	4,2	1,05	0,7	8,2	4,2	0,9	1,5	7,5	10,5	6	16,5	16
Тип наблюдения	Кольцевое	Кольцевое	Кольцевое	Кольцевое боковое	Кольцевое	Кольцевое	Кольцевое боковое	Кольцевое боковое	Кольцевое боковое	Кольцевое боковое	Кольцевое боковое	Кольцевое боковое	Кольцевое боковое
Увеличение, крат:													
при кольцевом наблюдении	3,3—5	2,6—6	1,1—1,8	2,2—4,5	1,85—6,6	2,63—9,05	3,2—5,6	4,5—5,7	3,3—5,3	2,7—6	0,8—5,4	0,8—4,6	4
при боковом наблюдении	—	—	2,2—3,6	3,1—6,2 3,2—6,5 4,4—8,9	80	—	4,47—7,8 9—15,6	12,7—15,8	6,9—11,7	3,8—8,6	1,1—7,8	0,95—5,4	6,3
Ширина кольца при кольцевом наблюдении, мм	25—35	25—45	15—25	10,8—21,7	—	50—130	—	—	—	—	—	100—940	—
Линейное поле зрения при боковом наблюдении, мм	—	—	—	10,8—21,7	—	—	9—12	3,5—10,5	—	31,5—71	26—250	50,4—280	—
Габаритные размеры прибора (диаметр×длина), мм	8,3×4300	8×4500	15×5430	14,5×2000	—	14×4500	34×4000	22×7500	60×7500	36× ×10 950	50×6500	75×17 165	71× ×16 800
Масса прибора (без укладочного ящика), кг	1,12	1,35	1,8	1,8	1,584	1,7	3,43	6	—	16	10	9,34—19,1	29

Импортные средства измерения и контроля шероховатости

Средства измерения и контроля	Определяемые параметры	Пределы измерения			Величины отсечки шага (значения базовых длин), мм	Геометрические формы проверяемых поверхностей	Минимальный диаметр проверяемого отверстия, мм	Максимальная глубина проверяемого отверстия, мм	Радиус острия ошупывающей иглы, мкм	Масса, кг	Изготовитель
		Ra	Rz	по классам							
		в мкм									
Профилограф Профилометр ME-10	Все Ra; Rz	4—0,008 4—0,02	20—0,025 20—0,1	5—14 5—12	0,8; 2,5	Плоские, цилиндрические, сферические, криволинейные	$\frac{8}{35}$; $\frac{2,5}{10}$; $\frac{30}{250}$		2	190	Фирма «К. Цейсс» (ГДР)
Профилограф Профилометр «Сурф-ком-2»	Все Ra; Rz	4—0,008 4—0,02	20—0,025 20—0,1	5—14 5—12	0,25; 0,8 2,5	То же	—		2,5	100	Фирма Tokyo Seimitsu Co. (Япония)
Профилограф Профилометр «Хомелтестер тип Т»	Все Ra; Rz	2,5—0,02 20—0,04	10—0,1 80—0,2	6—13 3—11	0,25; 0,75; 2,5	Плоские, цилиндрические, криволинейные	$\frac{4}{17}$; $\frac{8}{17}$		5	—	Фирма Hommel Werke (ФРГ)
Профилограф Профилометр портативный «Суртроник»	Все Ra; Rz	4—0,02 10—0,04	20—0,1 40—0,2	5—13 4—11	0,075; 0,25; 0,75; 1,2; 0,025; 0,075; 0,25; 0,4±10%	То же	$\frac{3}{5}$; $\frac{6}{120}$; $\frac{35}{1000}$ (специальные)		2,5 12,5	6	Фирма Rank Taylor Hobson (Англия)
Профилограф Профилометр портативный группы «Х» со сменными датчиками	Все Ra; Rz	4—0,02 10—0,04	20—0,1 40—0,2	5—13 4—11	0,25; 0,75; 2,5; 0,075; 0,025; 0,75	»	$\frac{2}{10}$; $\frac{4}{20}$		2,5	10,5	Фирма Bendix (США)
Профилограф Профилометр «Талисерф-4»	Все Ra; Rz	4—0,008 4—0,02	20—0,025 20—0,1	5—14 5—12	Весь диапазон	»	$\frac{2}{10}$; $\frac{4}{20}$		2,5		Фирма Rank Taylor Hobson (Англия)
Профилограф Профилометр «Талисерф-5»	Все	50—0,025 500—0,25	—	1—14 1—12	»	»	$\frac{2}{5}$; $\frac{2,5}{11}$; $\frac{32}{152}$; $\frac{8}{12,7}$		2,0	30	То же
Прибор светового сечения ВК-70-50 IV модификации	Rz; R _{max}	0,5—50	—	3—10	»	»					Фирма «К. Цейсс» (ГДР)

Таблица XVII.6.4

Тип датчиков	Минимальный контролируемый размер, мм	Глубина измеряемой поверхности, мм	Проверяемые параметры
Н	1,0 2,0	9 20	Отверстия и пазы малых размеров, выточки, буртики, расположенные снаружи или внутри детали, узкие проточки, образующие виток резьбы, поверхности зубьев, зубчатых колес и др.
В	2,0 3,5	9 20	
Т	3,0 4,0 7,0	— 9 20	Отверстия и пазы малых размеров, выточки, проточки, узкие буртики, расположенные снаружи и внутри детали, дно глухого отверстия, открытого или закрытого сверху, с проверкой через боковые отверстия детали, криволинейные поверхности и др.
Р	2	8	
GF	1	18	Отверстия малых диаметров, дно глубоких пазов, узкие фаски на стыках двух отверстий разных диаметров внутри детали, внутренние торцы выточек, отверстий и др.
GFz	2	30	Поверхности глубоких пазов, отверстий и др.
RF	—	—	Дно глубоких глухих отверстий, дно пазов и других труднодоступных поверхностей
RC	1,5	5	Образующие витков резьбы ходовых винтов
RB	3 25	25 150	Желоба колец шарикоподшипников
LC	6,5 (внутренний) 3,0 (наружный)	150 1000	Сплошные или прерывистые поверхности глубоких отверстий, поверхности огнестрельного оружия

Материалы, применяемые для слепков при контроле шероховатости поверхности

Материалы слепков по воспроизводимости профиля поверхности располагаются в следующем порядке:

- масляная гуттаперча;
- киноплёнка из ацетилацетата, этилцеллюлозы и нитроцеллюлозы;
- парафиновые сплавы;
- желатин;
- цапон-лак;
- целлулоид;

- сера;
 - гипс-хромпик;
 - легкоплавкий металлический сплав.
- В практике контроля наибольшее распространение получили следующие слепки:
- масляно-гуттаперчевые;
 - из киноплёнки;
 - восковые;
 - гипс-хромпиковые.

Приготовление слепков осуществляется в соответствии с РТМ-1.4.120—80.

В табл. XVII.6.5 приведены точностные данные слепков из новых материалов.

Таблица XVII.6.5

Вид обработки	Материал слепка	Класс точности	Среднее арифметическое отклонение профиля Ra		Абсолютная ошибка, мкм	Относительная ошибка, %	Высота неровностей Rz, мкм		Абсолютная ошибка, мкм	Относительная ошибка, %
			на образце	на слепке			на образце	на слепке		
Точение	Эпоксидная смола Силиконовая паста	6	1,6	1,65	0,05	3,1	10	10,25	0,25	2,5
				1,58	0,02	1,2		9,8	0,2	2
Шлифование	Эпоксидная смола Силиконовая паста	9	0,25	0,24	0,01	4	1,25	1,30	0,05	4
								1,28	0,03	2,4

Глава 7. КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ

С усложнением конструкций летательных аппаратов, вызываемых тактико-техническими требованиями, повышением точности узлов и агрегатов, повышением удельного веса вносимых в конструкцию проектируемого летательного аппарата единиц дорогостоящего оборудования, возникает необходимость проверки правильности конструктивных решений, с точки зрения возможности и достоверности измерения необходимых параметров.

В зависимости от характера решаемых задач эта проверка должна быть осуществлена на трех стадиях подготовки производства:

- подготовки и разработки технического задания;
- проектирования изделия;
- разработки рабочей документации.

На первой стадии эта работа сводится к выявлению и оценке возможности контроля изделия известными измерительными средствами или, при необходимости, измерительными средствами, которые следует разработать в соответствии с ГОСТ 15.001—73 уже на стадии разработки технического задания, когда еще имеется возможность оказывать влияние на выходные параметры будущего изделия, а также решить вопрос о возможности и целесообразности разработки.

На стадии проектирования изделия оценивается возможность контроля его существующими стандартными измерительными средствами. Возможно, что в этом случае потребуются одновременная разработка специальных измерительных средств.

На третьей стадии производится проверка заложенных в технической документации норм точности и возможности их контроля.

Особое значение придается разрабатываемым специальным измерительным средствам. Дополнительно должна быть проверена контролепригодность объекта измерения, то есть наличие и взаимная увязка норм точности, а также возможность их контроля измерительными средствами требуемого вида (например, калибром или пневматическим прибором) с учетом условий измерения. Должна быть также установлена обоснованность и достаточность требуемых (или принятых) норм точности на изделие и требований к измерительному средству.

Естественно, последнее касается не только выходных параметров измерительного средства, но и всех без исключения допусков, проставленных в чертежах.

При проверке контролепригодности детали приходится проверять взаимную увязку проставленных на чертеже допусков на размеры, отклонения формы и расположения и требования к шероховатости поверхности. Эта проверка должна входить в обязанности конструкторских и технологических служб предприятия-разработчика.

В случае обнаружения многочисленных отступлений такого рода может быть принято решение о возвращении чертежей на доработку.

Проверка контролепригодности изделия и проверка эффективности, достоверности и экономичности методов контроля должна проводиться под методическим руководством специалистов метрологической службы.

В этих случаях простая констатация факта неудовлетворенности принятыми решениями, как правило, не может считаться достаточной, поэтому метролог, под руководством которого осуществляется указанная проверка, должен дать рекомендации по исправлению обнаруженных недостатков, хотя это не всегда возможно.

Предложения, связанные с исправлением допущенных недостатков, должны носить конкретный характер, например, заменить одно измерительное средство другим, ужесточить или расширить норму точности на определенную величину, заменить метрологическую базу (без указания вариантов замены), обосновать вид допуска или заменить его другим, обосновать выбор нормируемого параметра и т. д.

Другой случай, когда может потребоваться проверка правильности принятых решений, может иметь место тогда, когда возникает трудность при контроле изделия, если контроль назначенных норм точности требует применения сложных и дорогостоящих измерительных средств, особенно трудоемких методов измерения, не выполним с помощью существующих измерительных средств или же требуется приобретение новых либо разработка специальных измерительных средств, например, при обучении или переподготовке технического персонала, при необходимости убедиться в обоснованности назначенных допусков и целесообразности принятого решения конструктором.

Проверка возможности и реализации методов контроля или контролепригодности изделия должна производиться в отношении всех без исключения параметров, на которые установлены нормы точности.

Одновременно с этим необходимо установить достаточность выбранного метода контроля для проверки данной нормы точности, а также убедиться в экономичности выбранного метода, то есть в том, что выбранный метод наименее трудоемок из всех методов, которыми может быть обеспечена проверка данной нормы точности, требует использования наиболее простых, удобных в обращении и надежных измерительных средств и предъявляет наименьшие требования к квалификации обслуживающего персонала и условиям измерения.

Для линейных измерений достаточно убедиться в том, что выбранные средства удовлетворяют требованиям ГОСТ 8.051—81 в отношении допускаемой погрешности измерения.

Если есть необходимость введения дополнительных норм точности, то их контролепригодность должна проверяться одновременно с их введением.

В это же время решается вопрос о соизмеримости продолжительности времени процесса изготовления с временем, связанным с проведением технического контроля.

При проектировании нового изделия конструктору надлежит помнить о том, что

— закладываемая конструкция подлежит контролю; конструкция должна быть контролепригодной, то есть имеющей измерительные базы, сочетаемые с базами технологическими, а также быть достаточно доступной для проведения контроля;

— проектируемая конструкция в смысле метрологического оснащения часто бывает ограниченной (особенно это касается крупногабаритных изделий), поэтому в случае надобности необходимо проектирование специального измерительного оборудования или приобретения импортных измерительных средств (в том числе трехкоординатных измерительных машин), потребных для метрологического обеспечения производства изделия на различных этапах производства (при изготовлении опытного образца, при выпуске установочной партии, при серийном производстве) или при его последующей эксплуатации;

— в силу особенностей конструкции проектируемого изделия, если конструкция имеет сравнительно малое число сочленений, необходимо предусмотреть возможности выделения или строительства производственных помещений и приобретения специального измерительного оборудования для обеспечения условий проведения измерений в процессе производства на различных этапах (при изготовлении опытного образца, при выпуске установочной партии, при серийном производстве) и его последующей эксплуатации.

Выводы

Итак, конструктор основного изделия должен

— иметь представление об основных методах контроля, особенности которых он должен учитывать как при выборе конструкционного материала, так и выборе самой конструкции детали;

— представлять, как конструировать крупногабаритные детали сложной конфигурации, чтобы их можно было легко проконтролировать тем или

иным методом, то есть подойти с точки зрения «метрологичности» (контролепригодности) детали;

— ориентировочно знать, как проконтролировать узел с точки зрения взаимного расположения поверхностей, соосности и параллельности;

— знать, как проконтролировать агрегаты и изделие в целом и обеспечить беспрепятственный доступ к контролируемому участку;

— иметь представление о составляющих погрешностях методов измерений;

— обеспечить конструктивно возможность надежного контроля точностных параметров деталей, узлов, агрегатов и изделия в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по технологичности самолетных конструкций (под редакцией докт. техн. наук Лещенко С. М., изд. 3-е. — НИАТ, 1972.
2. Специализированные средства измерения геометрических параметров. Каталог/НИАТ, НИАТ, 1973. 100 с., илл.
3. А. Г. Ванин, Э. И. Рыбакевич. Универсальная измерительная скоба для контроля диаметров валов. — *Авиационная промышленность*, 1967, № 7, с. 84, илл.
4. Э. И. Рыбакевич, Ю. Е. Родичев, Л. Д. Поскотин. Система активного контроля «Аналир-1». — *Авиационная промышленность*, 1970, № 12, с. 68–69, илл.
5. А. И. Иванов, В. Л. Ганелин, Э. И. Рыбакевич. Прибор для контроля глубоких отверстий в процессе шлифования. — *Авиационная промышленность*, 1958, № 8, с. 77–78, илл.
6. Руководящий технический материал. РТМ 1.4.120–80. Контроль шероховатости поверхности/НИАТ; инв. № 29770. — М., 1980, 26 с., илл.
7. Э. И. Рыбакевич. Методика выбора параметров узла подвески измерительной скобы с учетом привязки ее к технологическому оборудованию. — *Авиационная промышленность*, 1981, № 11, с. 43–44, илл.
8. ГОСТ 9847–79. Приборы оптические для измерения параметров шероховатости. Типы и основные параметры. — Взамен ГОСТ 9847–61; введен с 01.01.1981. — 7 с., УДК 531.715:006.354. Группа П41, СССР.
9. Допуски и посадки. Справочник, в 2-х частях, часть 2, изд. 5-е (переработанное и дополненное), под ред. В. Д. Мягкого. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1979.

Глава 1. КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА

Повышение требований к надежности и безопасности эксплуатации самолетов выдвигает настоятельную необходимость расширения работ в ОКБ по созданию контролепригодных конструкций.

Опыт проектирования современных самолетных конструкций показывает, что уже на этапе разработки чертежей необходимо заложить основы, предопределяющие контролепригодность и инструментальную доступность изделий с возможностью широкого применения неразрушающих методов контроля в процессе их испытаний и эксплуатации. При этом необходимо учитывать, что контроль самолетов в собранном виде без разборки значительно сложнее контроля отдельных его деталей, что выдвигает дополнительные требования к конструкциям, технологии и технической документации на проведение контроля.

Целью настоящей части сборника является разработка рекомендаций и некоторых справочных материалов, необходимых для лучшего проектирования контролепригодных и инструментально доступных конструкций, для более эффективного планирования на этапах проектирования объема и периодичности применения методов неразрушающего контроля, для разработки технической документации на проведение неразрушающего контроля в условиях испытаний и эксплуатации.

Данные рекомендации не могут претендовать на полноту, но в некоторой степени восполнят пробел по рассматриваемым вопросам.

При составлении рекомендаций были использованы материалы Украинского филиала НИАТ, ЦАГИ, учтен опыт передовых ОКБ.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОЙ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДОСТУПНОСТИ

Под контролепригодностью конструкций (ГОСТ 18831—73) понимается свойство конструкции изделия, обеспечивающее возможность, удобство и надежность ее контроля при изготовлении, техническом обслуживании и ремонте.

Дефектоскопическая контролепригодность конструкций обеспечивается в процессе проектирования изделий и во многом определяется степенью знания конструктором возможностей и области применения методов неразрушающего контроля.

При создании контролепригодной конструкции к ней предъявляется ряд требований:

- инструментальная доступность;
- приспособленность к контролю неразрушающими методами с учетом особенностей применяемого метода, в частности, требования к маркам, структуре, электропроводности и другим физическим свойствам металла; к параметрам, физическим и химическим свойствам защитных покрытий; к чистоте обработки поверхностей и т. д.;
- минимальное время и трудоемкость контроля;
- минимальный объем и стоимость контрольного оборудования.

Под инструментальной доступностью конструкции (ГОСТ 18831—73) понимается свойство конструкции изделия, обеспечивающее свободный доступ инструмента к ее поверхности при изготовлении, контроле, испытании, техническом обслуживании и ремонте.

Успешное применение неразрушающих методов контроля возможно только для инструментально доступных конструкций.

При проектировании изделий рекомендуется обеспечивать доступ к контролируемым участкам со средствами неразрушающего контроля, а также возможность размещения и перемещения этих средств в соответствии с применяемыми методами контроля. При этом необходимо учитывать, что практически неразрушающий контроль осуществляется двумя или более методами по оптимальным, с точки зрения выявляемости дефектов, схемам и методикам.

Для облегчения контроля силовых элементов конструкций, в особенности в области концентрации напряжений и в вероятных зонах возникновения дефектов, рекомендуется создавать специальные места для доступа (люки, съемные панели, технологические отверстия и т. п.). Они должны размещаться против тех мест установки узлов, агрегатов, деталей и их соединений, которые должны быть проконтролированы.

При создании доступа к элементам конструкций необходимо соблюдать следующее:

- конструкцию люков рассчитывать с учетом габаритов аппаратуры или принадлежностей (электромагнитный датчик, акустический искатель, кисть и т. п.), которые должны через них проходить; размеров руки или тела операторов плюс зимней одежды;

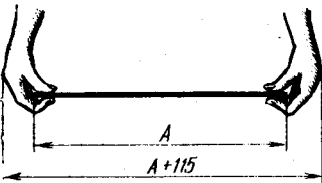
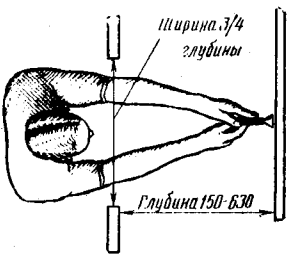
— размеры и формы люков должны обеспечивать беспрепятственный доступ к элементам конструкций и возможность проведения контроля в полном объеме;

— для наблюдения за контролем размеры люка должны быть увеличены или должно быть предусмотрено для этого специальное окно.

Ориентировочные размеры отверстий в элементах конструкций для выполнения работ по неразрушающему контролю приведены в табл. XVIII.1.1.

Таблица XVIII.1.1

Ориентировочные размеры отверстий в элементах конструкций для выполнения работ по неразрушающему контролю

Метод контроля	Размеры, мм		
	ширина	высота	диаметр
Электромагнитным датчиком	180	150	—
Акустическим искателем	180	150	—
С помощью установки рентгеновской пленки (рис. XVIII.1.1)	Ширина пленки + 115 мм	—	—
			
Рис. XVIII.1.1. К определению ширины отверстия, необходимого для установки рентгеновской пленки. (А — ширина пленки).			
Цветной (рис. XVIII.1.2)	145—475 (при глубине 150—630 мм)	—	—
			
Рис. XVIII.1.2. К определению ширины отверстия для проведения неразрушающего контроля.			
Специальными инструментами (разведчиками внутренних полостей, эндоскопами и т. п.)	—	—	8—150 (в зависимости от вида инструмента и контролируемого объекта)

Примечание. Размеры отверстий для выполнения работ по электромагнитному и акустическому методам контроля предусматривают просовывание руки с датчиком и возможность проведения контроля, по цветному методу — нанесение проникающей и проявляющей красок, осмотр контролируемых поверхностей, а также смывку индикаторных составов.

В отдельных случаях для контроля можно применять люки, которые требуют только просовывание руки с инструментом.

Для проектирования таких люков в табл. XVIII.1.2 приведены ориентировочные размеры руки с принадлежностями для неразрушающего контроля.

Таблица XVIII.1.2

Размеры руки с принадлежностями для неразрушающего контроля

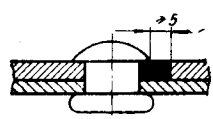
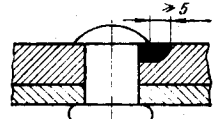
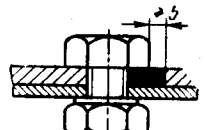
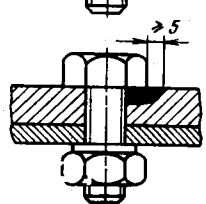
Наименование принадлежностей	Размеры, мм	
	ширина	высота
Рука с электромагнитным датчиком	100	120
Рука с акустическим искателем	140	120
Рука с кистью	120	100
Рука с аэрозольным баллоном для контроля цветным методом	140	150

Требования к контролепригодности конструкций, обусловленные особенностями методов неразрушающего контроля, изложены в части XV «Выбор методов и средств неразрушающего контроля».

В случае создания неконтролепригодного и инструментально недоступного узла конструкции рекомендуется его спроектировать и рассчитать таким образом, чтобы полностью исключить возможность опасного для самолета разрушения при действующих эксплуатационных нагрузках в пределах установленного срока службы и ресурса. При этом необходимо учитывать возможности выявления усталостных поражений неразрушающими методами контроля без разборки конструкций, приведенные в табл. XVIII.1.3.

Таблица XVIII.1.3

Возможности выявления усталостных поражений в элементах конструкций неразрушающими методами контроля

Элемент, выявляемые дефекты	Эскиз
Заклепочные соединения. Дефекты протяженностью более 5 мм от головки заклепки	 
Болтовые соединения. Дефекты протяженностью более 5 мм от головки болта	 

Продолжение табл. XVIII.1.3

Элемент, выявляемые дефекты	Эскиз
Многослойные конструкции (более двух элементов) из материалов на одинаковой химической основе	
Разрушения между заклепками (болтами) во внутренних элементах протяженностью более 10—15 мм	
Многослойные конструкции. Дефекты в элементах, находящиеся на расстоянии более 3 мм от края сопрягаемого элемента	—
Радиусные переходы. Дефекты в радиусных переходах с радиусом более 3 мм	
Полости с односторонним доступом. Дефекты в элементах, находящиеся в пазах шириной более 4 мм	
Дефекты на внутренней поверхности отверстий, колодцев и т. п. диаметром более 6 мм	

Для обеспечения неразрушающего контроля в процессе испытаний и эксплуатации при проектировании самолетов составляются перечни мест деталей, узлов, агрегатов и систем, требующих повышенного внимания.

Места повышенного внимания определяются на основании:

— анализа уровня напряженного состояния и степени концентрации напряжений в элементах конструкций;

— анализа усталостной долговечности конструктивных элементов;

— результатов статических, усталостных, стендовых и специальных испытаний на живучесть;

— анализа отказов и неисправностей в период испытаний и эксплуатации;

— обобщения данных по исследованию разрушений конструкций;

— анализа ориентировочной трудоемкости подготовки и проведения контроля.

В перечень зон повышенного внимания обязательно должны быть включены:

— места, являющиеся расчетными по условиям обеспечения достаточной статической и усталостной прочности;

— места, в которых при испытаниях или в эксплуатации появляются трещины;

— места, в которых может появиться интенсивно развивающаяся трещина из-за возможных производственных дефектов.

В процессе испытаний и эксплуатации перечень мест повышенного внимания будет уточняться.

Элементы конструкций основных агрегатов и систем самолета (вертолета) по степени опасности разрушения или снижения несущей способности при наличии в них повреждений подразделяются, согласно классификации ЦАГИ, на следующие категории:

1-я — основные силовые элементы без дублирования, например пояс лонжерона однолонжеронного крыла, монолитный стыковой профиль разьема, гермошпангоут фюзеляжа и др.;

2-я — внутренние силовые элементы, такие как силовой набор кессона, силовые шпангоуты, стыковочные элементы;

3-я — силовая обшивка планера самолета (верхняя и нижняя обшивки крыла в межлонжеронной части и т. п.);

4-я — элементы, подверженные воздействию акустических нагрузок, например обшивка киля, стабилизатора;

5-я — несиловые элементы, разрушение которых не приводит к потере несущей способности конструкции, а нарушает их силовые функции, например, ухудшает аэродинамические характеристики самолета (зализы, обтекатели, ленты и пр.).

Периодичность контроля состояния элементов конструкций определяется степенью их ответственности и вносится в регламенты технического обслуживания. При этом в соответствии с рекомендациями ЦАГИ для каждого конструктивного элемента, узла, агрегата планера выбирается способ обеспечения безопасности по условиям выносливости (см. табл. XVIII.1.4).

Надежность безопасно повреждающихся элементов, участков конструкции может быть обеспечена только за счет введения после выработки ими безопасного срока службы 100%-ного систематического контроля за их состоянием в условиях эксплуатации.

При проектировании самолетов необходимо вводить обоснованные нормы допустимых дефектов конструкций, учитывающие влияние дефектов на эксплуатационные свойства контролируемых объектов.

Четкое и обоснованное определение допустимых дефектов позволяет выбрать наиболее технически

Таблица XVIII.1.4

Способы обеспечения безопасности полетов

Способ обеспечения безопасности	Расчетная вероятность появления дефекта за срок службы самолета	Вид дефектоскопического контроля в эксплуатации
Безопасный ресурс	10^{-3} — 10^{-5}	Выборочный, разовый, а также систематический всего парка в случае необходимости
Эксплуатационная живучесть	10^{-1} — 10^{-3}	Систематический всего парка
Эксплуатация по техническому состоянию	1 — 10^{-1}	Выборочный, многократный

эффективный и экономически выгодный метод неразрушающего контроля.

При этом допустимые размеры дефектов должны быть такими, чтобы остаточная статическая прочность при развитии дефектов до уровня их выявления методами неразрушающего контроля была достаточной для безопасной эксплуатации изделия без ограничения.

Для безопасно повреждающихся конструкций, согласно данным ЦАГИ, периодичность контроля определяется длительностью развития повреждения от минимальных надежно обнаруживаемых размеров до предельно допустимых:

$$\Delta T = \frac{l_{\text{пред}} - l_0}{\eta v_{\text{ср}}},$$

где ΔT — интервал между осмотрами в единицах наработки (часы или полеты);

l_0 — минимальный надежно обнаруживаемый размер повреждения (длина, ширина раскрытия трещины, площадь усталостной зоны и т. д.); при этом нужно стремиться к тому, чтобы $l_0 \leq l_{\text{мах стат}}$, где $l_{\text{мах стат}}$ — величина повреждения, при которой обеспечивается расчетная прочность ($P_{\text{расч}}$);

$l_{\text{пред}}$ — предельный размер повреждения, соответствующий заданным нормам прочности величине остаточной прочности конструкции;

$v_{\text{ср}}$ — среднее значение скорости развития повреждения на участке от l_0 до $l_{\text{пред}}$;

η — коэффициент надежности, учитывающий разброс скорости развития повреждений (принимается в соответствии с нормами прочности).

На этапе проектирования величина l_0 определяется с учетом выбранных средств и метода контроля; $l_{\text{пред}}$ — на основании расчета остаточной прочности конструкции; $v_{\text{ср}}$ — на основании расчетных оценок и обобщения имеющихся материалов.

В процессе лабораторных испытаний принятые значения параметров должны быть уточнены.

Для элементов конструкций 1-, 2-, 3-й категорий по степени опасности разрушений эксплуатация с обнаруженным повреждением любого размера,

как правило, не допускается. Допустимое повреждение элементов 4- и 5-й категорий определяется требованиями сохранения функциональных свойств и несущей способности узлов, агрегатов в период между ремонтами.

К эксплуатации по техническому состоянию, согласно данным ЦАГИ, допускаются только элементы 4- и 5-й категорий по степени опасности разрушения элементов конструкций. Факт массового появления повреждений этих элементов может быть установлен при выборочном их контроле, производимом периодически на одной из форм технического обслуживания.

ПРИМЕРЫ КОНТРОЛЕПРИГОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В разделе приводятся примеры конструкций, для контроля которых не требуется трудоемкая разборка, а объем демонтажных работ минимален. Контроль осуществляется с помощью существующих наиболее распространенных методов дефектоскопии: оптического, рентгеновского, электромагнитного, магнитного, ультразвукового и капиллярного.

Примеры контролепригодных конструкций приведены в табл. XVIII.1.5 и на рис. XVIII.1.3—XVIII.1.9.

Таблица XVIII.1.5

Примеры контролепригодных конструкций

Наименование узла	Место возможного появления трещин	Рекомендуемый метод неразрушающего контроля
Нижние панели крыла (см. рис. XVIII.1.3)	Обшивка и лапки стрингеров по крайним отверстиям крепления сливных кранов*	Рентгеновский контроль
Верхние панели центроплана с профилями разъема (см. рис. XVIII.1.4)	Обшивка, профиль разъема, стрингер	То же
Нижние панели крыла с усиливающими накладками (см. рис. XVIII.1.5)	Обшивка и лапки стрингеров	»
Кронштейн подвески главной ноги шасси (см. рис. XVIII.1.6)	Ребра и карманы кронштейна	Оптический, электромагнитный или капиллярный
Узел навески стабилизатора (см. рис. XVIII.1.7)	Радиусные переходы стальных кронштейнов	Магнитный
Стык стабилизатора с фюзеляжем (см. рис. XVIII.1.8)	Радиусные переходы пояса лонжерона стабилизатора	Оптический, электромагнитный или капиллярный
Обшивка форкиля и хвостовых гребней (см. рис. XVIII.1.9)	Радиусный переход обшивки	То же

* Места возможного появления трещин на рисунках указаны стрелками.

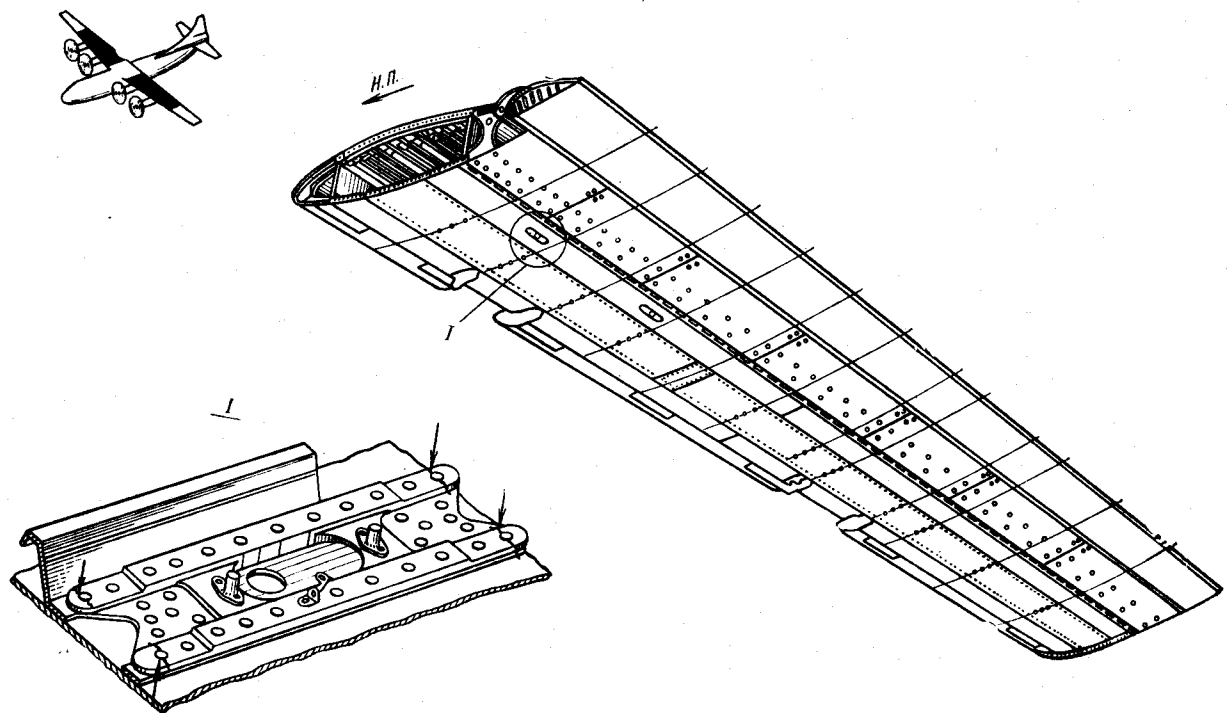


Рис. XVIII.1.3. Нижние панели СЧК.

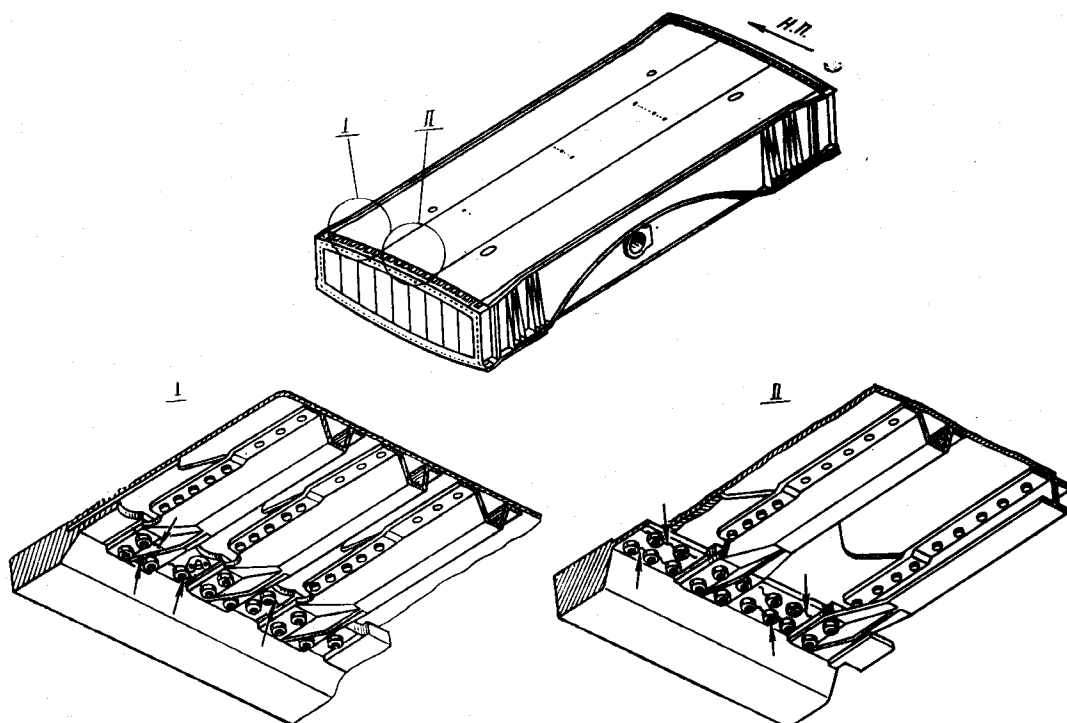


Рис. XVIII.1.4. Верхние панели центроплана.

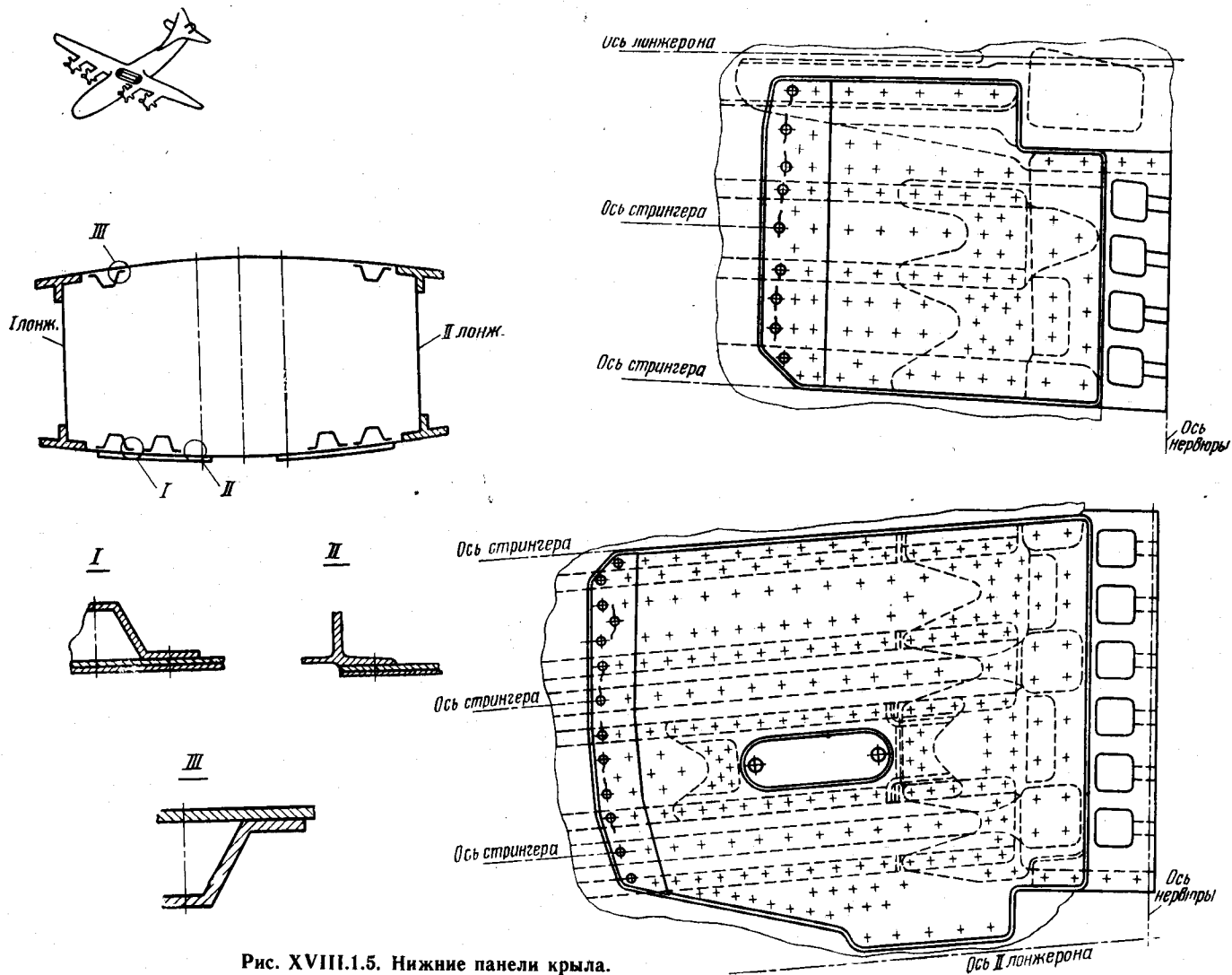


Рис. XVIII.1.5. Нижние панели крыла.

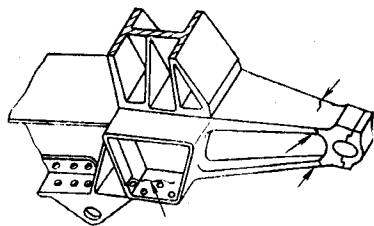


Рис. XVIII.1.6. Кронштейн подвески главной ноги шасси.

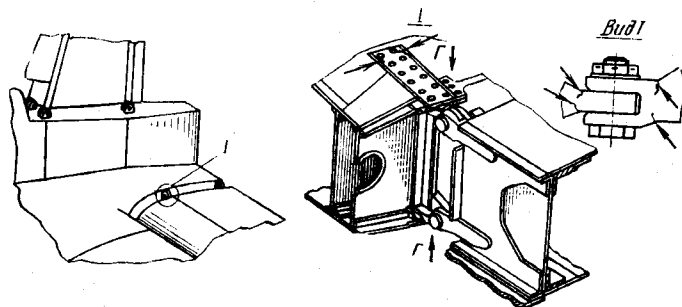


Рис. XVIII.1.7. Стык стабилизатора с фюзеляжем (узел навески стабилизатора).

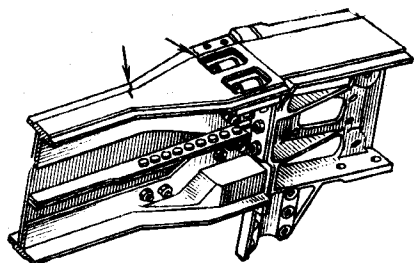


Рис. XVIII.1.8. Стык стабилизатора с фюзеляжем.

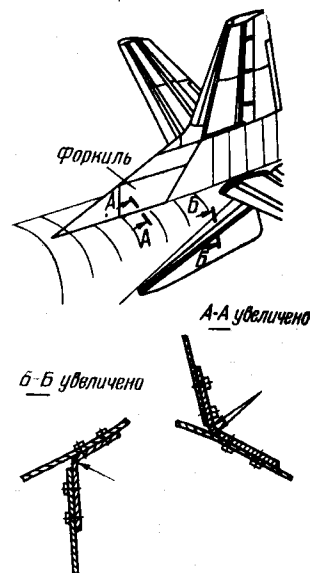


Рис. XVIII.1.9. Хвостовое оперение.

ПРИМЕРЫ НЕКОНТРОЛЕПРИГОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В разделе приводятся примеры конструкций, для контроля которых необходимо обеспечение к ним доступа путем трудоемкой разборки конструкции или сложного демонтажа элементов, затрудняющих контроль существующими и наиболее распространенными методами неразрушающего контроля.

Примеры неконтролепригодных конструкций приведены в табл. XVIII.1.6 и на рис. XVIII.1.10—XVIII.1.13.

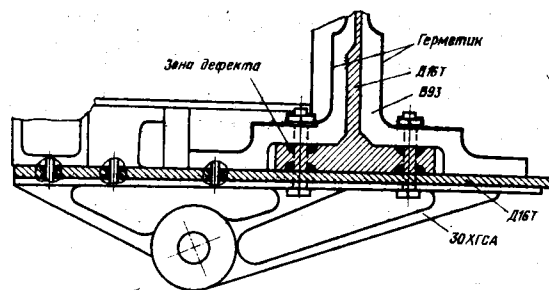


Рис. XVIII.1.11. Узел крепления двигателя к лонжерону.

Примеры неконтролепригодных конструкций

Таблица XVIII.1.6

Наименование и характеристика узла	Место возможного появления трещин	Оценка контролепригодности	Рекомендации по обеспечению надежности конструкции
Крепление узла навески пилона двигателя (см. рис. XVIII.1.10). Конструкция состоит из нескольких элементов, один из которых изготовлен из стали. Элементы соединены болтами. Гайки болтов покрыты герметиком	Внутренние элементы конструкции у отверстий под болты крепления узла	Узел неконтролепригоден. Отсутствие доступа к контролируемым местам исключает применение оптического, электромагнитного и капиллярного методов контроля. Наличие в пакете стального элемента исключает применение рентгеновского метода	Конструкция должна быть рассчитана таким образом, чтобы полностью исключить возможность опасного для изделия разрушения при действующих нагрузках в пределах установленного срока службы и ресурса
Узел крепления двигателя к лонжерону (см. рис. XVIII.1.11). Конструкция состоит из нескольких элементов, скрепленных болтами, и покрыта с одной стороны герметиком. Один из элементов стальной	То же	То же	То же
Узел стыка центроплана с фюзеляжем (см. рис. XVIII.1.12). Конструкция состоит из нескольких элементов, скрепленных болтами	Радиусные переходы наружных элементов	Узел неконтролепригоден из-за близкого расположения гаек и головок болтов к зоне контроля. Демонтаж болтов связан с большой трудоемкостью работ	Болты установить на расстоянии от радиусных переходов, обеспечивающем возможность проведения контроля (более 10 мм)
Кронштейн навески крышки люка (рис. XVIII.1.13)	Стойка у отверстий под болты крепления кронштейна	Узел неконтролепригоден. Для контроля оптическим, электромагнитным и капиллярным методами отсутствует доступ к контролируемым местам	Узел необходимо спроектировать таким образом, чтобы полностью исключить возможность опасного для изделия разрушения при действующих нагрузках в пределах установленного срока службы и ресурса

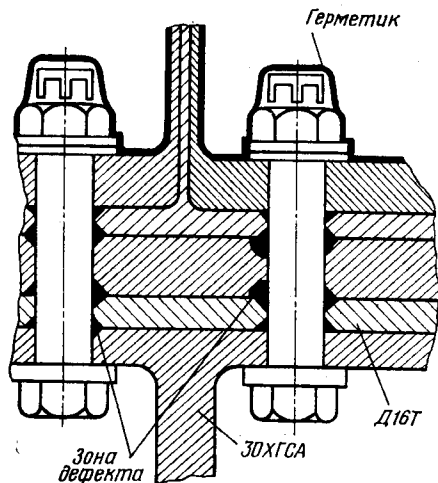


Рис. XVIII.1.10. Крепление узла навески пилона двигателя.

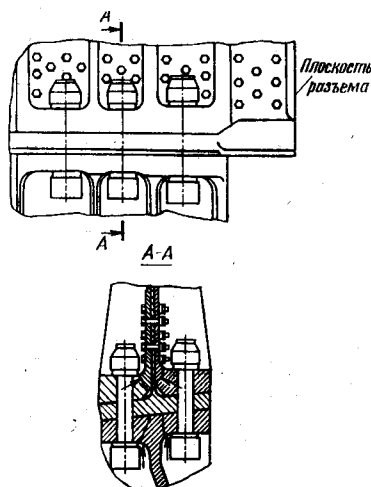


Рис. XVIII.1.12. Стык центроплана с фюзеляжем.

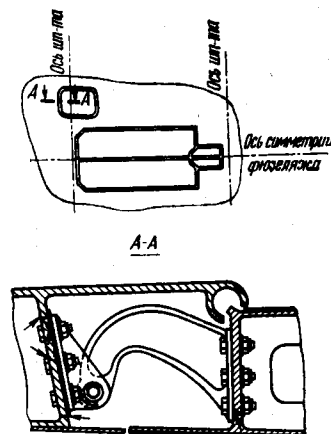


Рис. XVIII.1.13. Кронштейн навески крышки люка.

ПРИМЕРЫ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОЙ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ

Дефектоскопическая контролепригодность может быть достигнута в процессе проектирования новых самолетов путем создания контролепригодных

конструкций и в процессе эксплуатации существующих самолетов путем доработки конструкций в целях обеспечения возможности применения неразрушающих методов контроля.

В табл. XVIII.1.7 и на рис. XVIII.1.14—XVIII.1.29 приведены некоторые примеры конструктивных решений по обеспечению дефектоскопической контролепригодности.

Таблица XVIII.1.7

Примеры конструктивных решений по обеспечению дефектоскопической контролепригодности

Наименование узла	Место возможного появления трещин	Оценка контролепригодности	Предлагаемое решение по обеспечению контролепригодности
Узел крепления панели крыла к переднему (заднему) лонжерону (см. рис. XVIII.1.14)	Пояс лонжерона и обшивка под болты крепления к лонжерону	Узел (см. рис. XVIII.1.14, а) не контролепригоден. Из-за отсутствия доступа к месту контроля невозможно применение оптического, электромагнитного или капиллярного методов, а из-за совпадения плоскостей трещины и обреза обшивки — рентгеновского метода	Изменение конструкции (см. рис. XVIII.1.14, б) дает возможность применить оптический, электромагнитный и капиллярный методы
Узел крепления панели крыла к среднему лонжерону (см. рис. XVIII.1.15)	То же	То же	То же
Фитинг лонжерона (см. рис. XVIII.1.16)	Радиусный переход полки к стенке фитинга	Узел (см. рис. XVIII.1.16, а) не контролепригоден. Близкое расположение стенки фитинга и болтов затрудняет применение оптического, электромагнитного или капиллярного методов	Спроектировать конструкцию таким образом, чтобы болты находились на расстоянии не менее 10 мм от радиусного перехода (см. рис. XVIII.1.16, б)
Профиль разъема (см. рис. XVIII.1.17)	Радиусный переход подфрезеровки под обшивку	Узел не контролепригоден (см. рис. XVIII.1.17, а). Применение оптического, электромагнитного или капиллярного методов исключено из-за отсутствия доступа. Рентгеновский контроль невозможен из-за совпадения плоскости дефектов и обреза обшивки	Увеличение радиусного перехода подфрезеровки (см. рис. XVIII.1.17, б) дает возможность применить ультразвуковой метод контроля для выявления трещин в зонах между колодцами, а обрезка обшивки — электромагнитный метод в зонах колодцев
Узел крепления кронштейна на лонжероне (см. рис. XVIII.1.18)	Радиусные переходы стойки	Узел (см. рис. XVIII.1.18, а) не контролепригоден. Применение оптического, электромагнитного или капиллярного методов исключено из-за близкого расположения головок болтов и гаек	Спроектировать конструкцию таким образом, чтобы болты находились на расстоянии не менее 10 мм от радиусного перехода
Лапка пояса лонжерона в зоне крепления петли откидной панели (см. рис. XVIII.1.19)	Лапка пояса лонжерона у отверстий под заклепки крепления петли откидной панели	Узел (см. рис. XVIII.1.19, а) не контролепригоден. Близкое расположение отверстий от стенки лонжерона исключает применение оптического, электромагнитного или капиллярного методов контроля	Спроектировать конструкцию таким образом, чтобы отверстия находились на расстоянии не менее 10 мм от стенки лонжерона
Скуловая балка фюзеляжа (см. рис. XVIII.1.20)	Обшивка фюзеляжа, подкладной лист	Узел (см. рис. XVIII.1.20, а) не контролепригоден. Из-за отсутствия доступа к контролируемым деталям применение оптического, электромагнитного или капиллярного методов исключено. Рентгеновский контроль невозможен из-за наличия короба с трубопроводами в направлении рентгеновских лучей	Удалить из зоны рентгеновского просвечивания короб с трубопроводами. В этом случае (см. рис. XVIII.1.20, б) возможен рентгеновский контроль путем установки рентгеновской пленки снаружи обшивки фюзеляжа, а источника излучения — внутри фюзеляжа
Гермошпангоут фюзеляжа (см. рис. XVIII.1.21)	Стенка подпольной части фюзеляжа	Узел (см. рис. XVIII.1.21, а) не контролепригоден. Из-за отсутствия доступа к месту возникновения трещин невозможно применение оптического, электромагнитного или капиллярного методов контроля. Рентгеновский метод неприменим из-за совпадения плоскостей трещины и обреза профиля	Переместить место возможного возникновения трещин за счет изменения размера профиля шпангоута (см. рис. XVIII.1.21, б). Трещины могут быть выявлены оптическим, электромагнитным или капиллярным методами

Наименование узла	Место возможного появления трещин	Оценка контролепригодности	Предлагаемое решение по обеспечению контролепригодности
Узел стыка обшивок фюзеляжа (см. рис. XVIII.1.22)	Обшивка фюзеляжа в месте перепада жесткостей	Узел (см. рис. XVIII.1.22, а) не контролепригоден. Из-за отсутствия доступа трещины невозможно выявить оптическим, электромагнитным и капиллярным методами. Совпадение плоскостей развития трещин, обреза обшивки и полки стрингера исключают применение рентгеновского метода контроля	Изменение типа соединения обшивок (встык вместо внахлестку) (см. рис. XVIII.1.22, б) дает возможность выявить трещины оптическим, электромагнитным или капиллярным методами
Нижняя панель центральной части крыла в месте установки стальных усиливающих накладок (см. рис. XVIII.1.23)	Обшивка по крайним отверстиям крепления усиливающих накладок	Узел (см. рис. XVIII.1.23, а) не контролепригоден. Трещины закрыты снаружи накладкой, изнутри лапками стрингеров, что не дает возможности применить оптический, электромагнитный и капиллярный методы контроля. Наличие в конструкции материалов с различной плотностью исключает применение рентгеновского метода	Изменение формы накладки (см. рис. XVIII.1.23, б) позволяет выявить трещины, выходящие из-под «языков» накладки оптическим, электромагнитным и капиллярным методами
Узел крепления стрингеров к кницам нервюры (см. рис. XVIII.1.24)	Обшивка у отверстий под винты крепления стрингеров к кницам нервюры	Узел (см. рис. XVIII.1.24, а) не контролепригоден. Шайба и головка винта закрывают трещину значительной протяженности (4—6 мм). Электромагнитным и капиллярным методами возможно выявление трещин, вышедших из-под шайбы на расстояние более 4—5 мм	Изменение конструкции узла (см. рис. XVIII.1.24, б) дает возможность выявить трещины у отверстий электромагнитным или капиллярным методами
Узел установки топливного насоса (см. рис. XVIII.1.25)	Пояс лонжерона у отверстия под топливный насос	Узел (см. рис. XVIII.1.25, а) не контролепригоден. Доступ к поясу лонжерона закрыт насосом и стенкой лонжерона, что не дает возможности применить существующие методы контроля	Вырезка стенки и пояса лонжерона обеспечивает возможность электромагнитного контроля пояса лонжерона снаружи и изнутри по торцу пояса
Стабилизатор (см. рис. XVIII.1.26)	Радиусный переход кницы нервюры, стенка у отверстия под заклепку крепления кницы	Узел (см. рис. XVIII.1.26, а) не контролепригоден. Для применения оптического, электромагнитного или капиллярного методов отсутствует доступ. Из-за развития трещин в плоскости, перпендикулярной плоскости возможного распространения рентгеновских лучей, невозможен рентгеновский контроль	Установить лючок, обеспечивающий доступ к контролируемым элементам (см. рис. XVIII.1.26, б). Трещины можно выявить электромагнитным методом
Передний зализ крыла (см. рис. XVIII.1.27)	Обшивка фюзеляжа в местах крепления подкрепляющего элемента	Узел (см. рис. XVIII.1.27, а) не контролепригоден. Для применения оптического, электромагнитного или капиллярного методов отсутствует доступ к контролируемым местам	То же
Обшивка крыла в зонах установки сливного крана (см. рис. XVIII.1.28)	Лапки стрингеров у крайних отверстий крепления окантовки	Контролируемые места (см. рис. XVIII.1.28, а) закрыты с одной стороны обшивкой, с другой окантовкой. Выявление трещин малой протяженности (5—8 мм), возникших в процессе испытаний и эксплуатации, невозможно электромагнитным или капиллярным методами из-за отсутствия доступа к контролируемым местам	При определенной наработке узла произвести обрезку окантовки, обеспечив доступ к лапкам стрингеров у крайних отверстий крепления окантовки (см. рис. XVIII.1.28, б). Возможно выявление возникших и развивающихся трещин в процессе испытаний и эксплуатации электромагнитным и капиллярным методами
Крепление панели крыла к лонжерону (см. рис. XVIII.1.29)	Пояс лонжерона у отверстий под болты крепления панели	Контролируемые места (см. рис. XVIII.1.29, а) закрыты обшивкой. Выявление трещин малой протяженности (до 5—8 мм) рентгеновским методом невозможно. Отсутствие доступа не позволяет применить оптический, электромагнитный и капиллярный методы	При определенной наработке узла выполнить в обшивке выборки диаметром, большим диаметра отверстия (см. рис. XVIII.1.29, б), что позволяет применить электромагнитный и капиллярный методы. После контроля на место выборки установить специальную шайбу

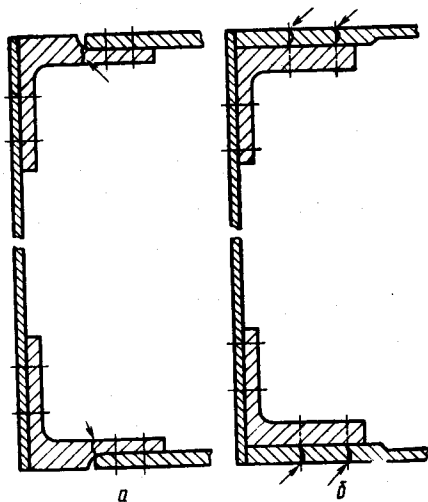


Рис. XVIII.1.14. Крепление панели крыла к переднему (заднему) лонжерону:

a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

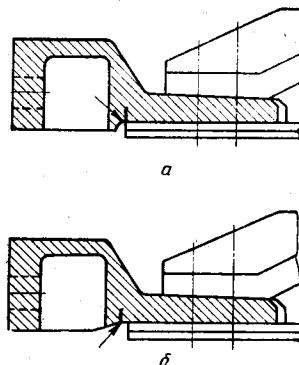


Рис. XVIII.1.17. Профиль разреза:

a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

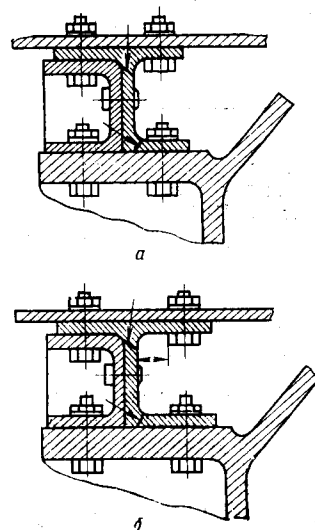


Рис. XVIII.1.18. Крепление кронштейна на лонжероне:

a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

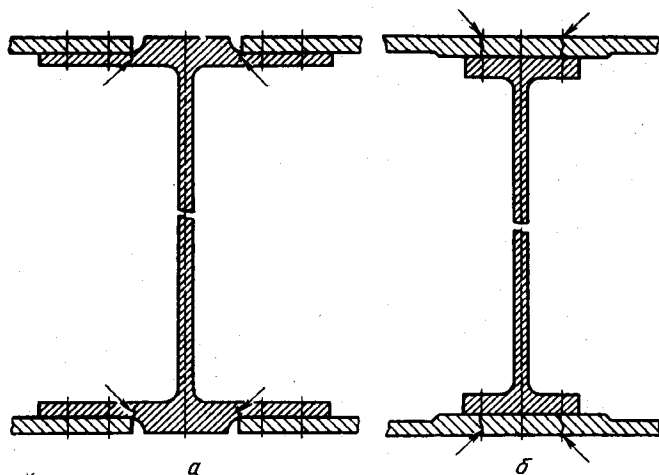


Рис. XVIII.1.15. Крепление панели крыла к среднему лонжерону:

a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

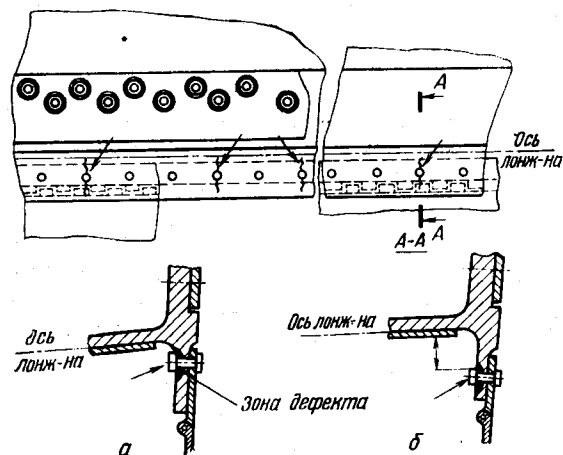


Рис. XVIII.1.19. Лапка пояса лонжерона:

a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

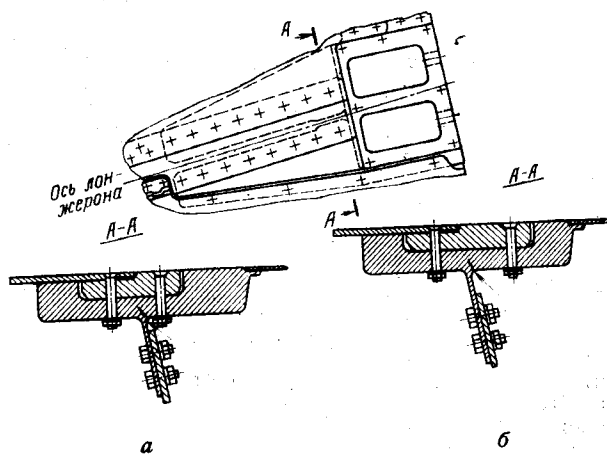


Рис. XVIII.1.16. Фитинг лонжерона:

a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

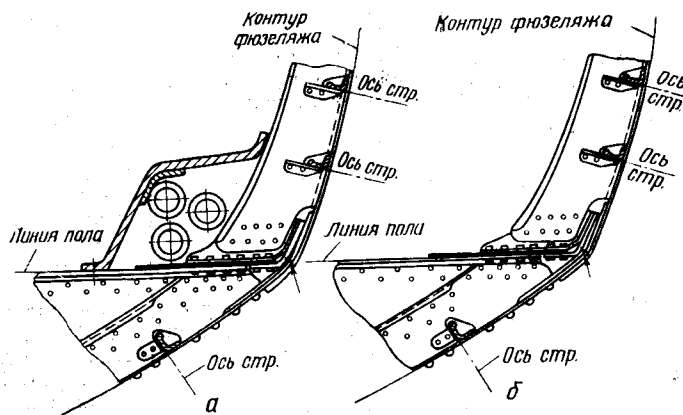


Рис. XVIII.1.20. Зона скуловой балки фюзеляжа:

a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

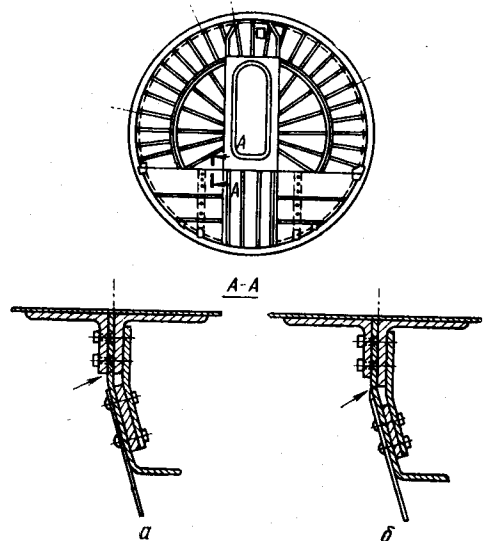


Рис. XVIII.1.21. Гермошпангут:
а — неконтролепригодно; б — контролепригодно.

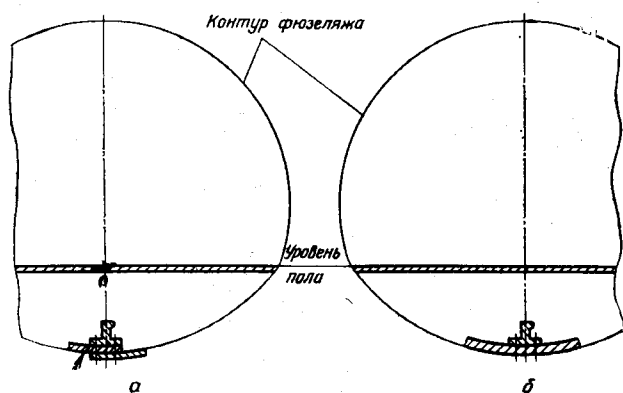


Рис. XVIII.1.22. Стык обшивок фюзеляжа:
а — неконтролепригодно; б — контролепригодно.

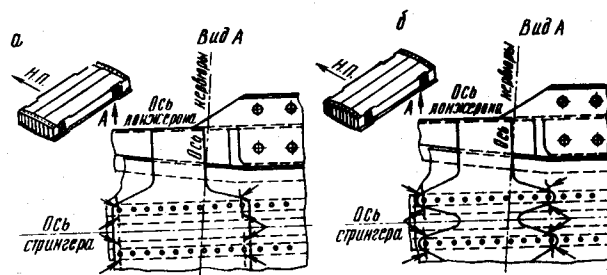


Рис. XVIII.1.23. Нижняя панель центроплана:
а — неконтролепригодно; б — контролепригодно.

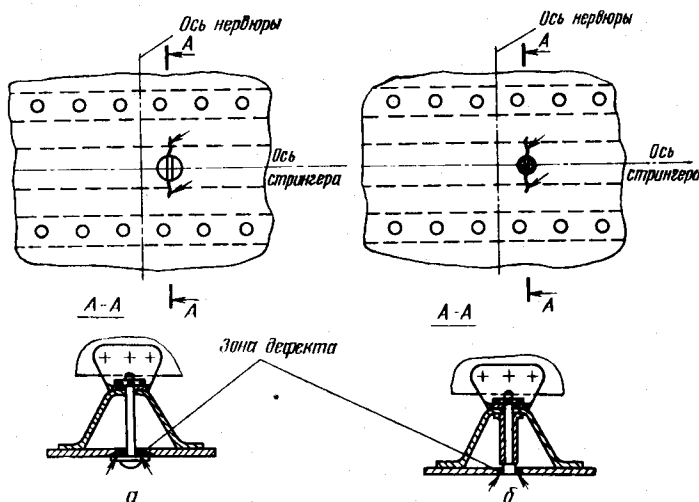


Рис. XVIII.1.24. Крепление стрингеров к концам нервюр:
а — неконтролепригодно; б — контролепригодно.

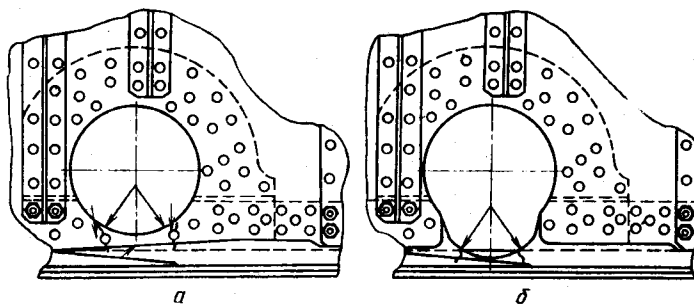


Рис. XVIII.1.25. Узел установки топливного насоса:
а — неконтролепригодно; б — контролепригодно.

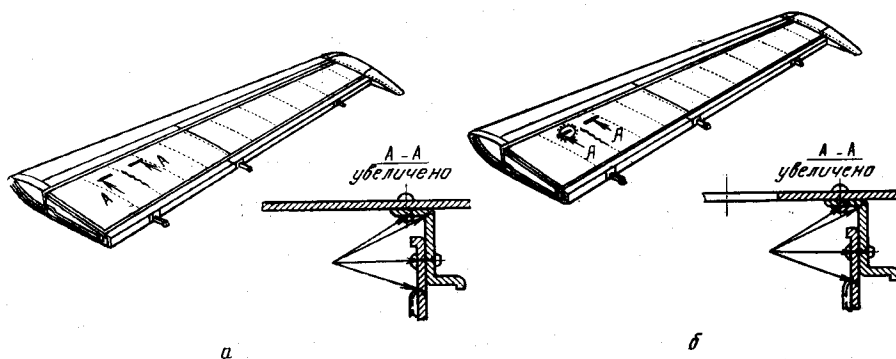
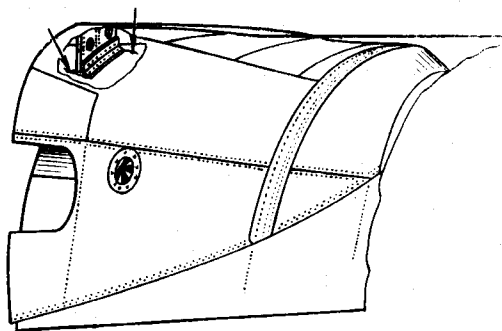
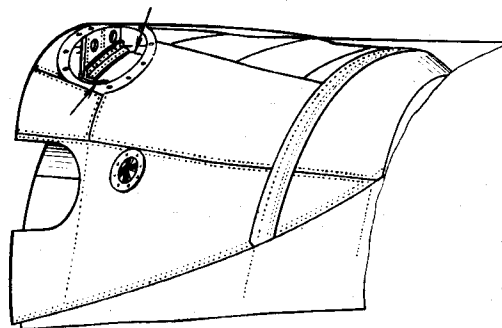


Рис. XVIII.1.26. Стабилизатор:
а — неконтролепригодно; б — контролепригодно.



a



б

Рис. XVIII.1.27. Передний зализ крыла:
a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

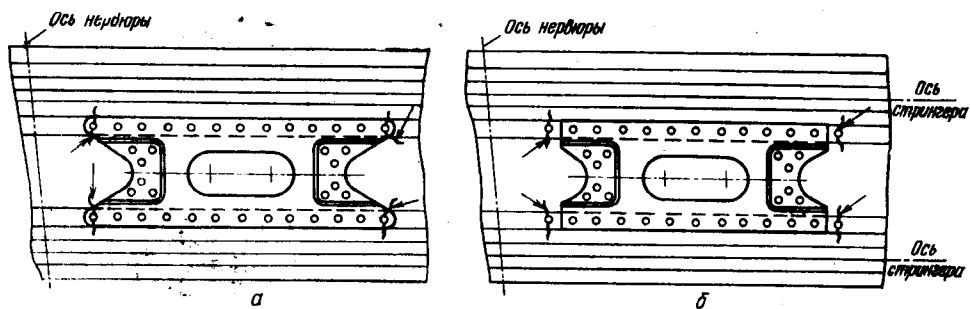


Рис. XVIII.1.28. Окантовка сливного крана:
a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

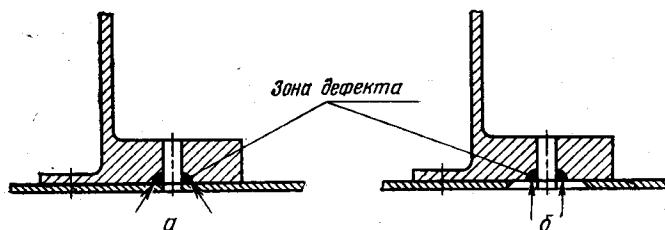


Рис. XVIII.1.29. Крепление панели крыла к лонжерону:
a — неконтролепригодно; *б* — контролепригодно.

Глава 2. ОФОРМЛЕНИЕ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ПРОВЕДЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПЫТАНИЙ САМОЛЕТОВ







При проектировании деталей и узлов конструкции возникает необходимость введения неразрушающего контроля для выявления дефектов, возникающих в процессе производства и испытаний. Для этого в чертежах деталей указывают вид неразрушающего контроля с учетом материала и ви-








да исходного полуфабриката, группы или категории контроля, определяемых в зависимости от степени ответственности проектируемой детали, узла, изделия.








Назначение неразрушающих методов контроля следует производить в соответствии с табл. XVIII.2.1.

Таблица XVIII.2.1

Рекомендации по назначению неразрушающих методов контроля в конструкторской документации

Наименование полуфабрикатов, материалов, соединений	Группа, категория контроля	Метод контроля		Запись метода контроля в чертеже	Условное графическое обозначение	Примечание
		для полуфабрикатов, материалов	для деталей			
Литье (цветные металлы)	I и II группы	Рентгеновский		Рентгеновский контроль		Приводится схема участков детали, подвергаемых контролю
		Капиллярный		Капиллярный контроль		Контроль осуществляется по инструкции 412—69 ВИАМ
	III группа	Визуальный		Визуальный контроль		Допускается применение визуального контроля после анодирования для деталей из алюминиевых сплавов
Литье (черные металлы)	I и II группы	Рентгеновский		Рентгеновский контроль		Приводится схема участков детали, подвергаемых контролю
		Магнитный		Магнитный контроль		
	III группа	»		То же		

Наименование полуфабрикатов, материалов, соединений	Группа, категория контроля	Метод контроля		Запись метода контроля в чертеже	Условное графическое обозначение	Примечание
		для полу- фабрика- тов, ма- териалов	для деталей			
Штамповки, поковки, плиты, прессованные профили (цветные ме- таллы)	I и II группы	Ультразвуковой —	Капилляр- ный	Ультразвуковой контроль Капилляр- ный контроль	 	Контролю подвергают- ся штамповки, поковки, профили и детали, из- готовленные из них, тол- щиной от 10 мм и ка- таные плиты толщиной от 20 мм и более. Допускается примене- ние электромагнитного контроля Метод контроля опре- деляется при разработке технологии изготовления по инструкции 971—70 ВИАМ. Допускается примене- ние электромагнитного контроля
	III группа	—	»	То же		Метод контроля опре- деляется при разработке технологии изготовления по инструкции 971—70 ВИАМ. Допускается примене- ние визуального контро- ля после анодирования для деталей из алюми- ниевых сплавов
Штамповки, поковки, прутки (черные металлы)	I и II группы	—	Ультразвуковой	Ультразвуковой контроль		Ультразвуковому конт- ролю подвергаются уча- стки деталей толщиной от 10 мм и более
	III группа	—	Магнитный	Магнитный контроль		—
Сварные соединения (черные металлы)	I и II категории	—	Рентгенов- ский	Рентгенов- ский контроль		—
			Магнитный	Магнитный контроль		—








Наименование полуфабрикатов, материалов, соединений	Группа, категория контроля	Метод контроля		Запись метода контроля в чертеже	Условное графическое обозначение	Примечание
		для полуфабрикатов, материалов	для деталей			
Сварные соединения (черные металлы)	III категория	—	Визуальный	Визуальный контроль		Допускается в случае необходимости проведения рентгеновского контроля
Сварные соединения (цветные металлы)	I и II категории	—	Рентгеновский	Рентгеновский контроль		—
	III категория	—	Визуальный	Визуальный контроль		Допускается в случае необходимости проведения рентгеновского контроля
Сотовые конструкции	—	—	Импедансный	Импедансный контроль		Предельная толщина обшивки при контроле алюминиевых сплавов — 2 мм, для стали — 1,5 мм
Клеевые соединения	—	—	То же	То же		Контролю подвергаются двухслойные конструкции при сочетании материалов разных толщин. Контроль может производиться только со стороны менее жесткого элемента конструкции
Композиционные материалы	—	—	Велосиметрический	Импедансный контроль		Контролю подвергаются детали толщиной 1 мм и более
				Велосиметрический контроль		

Обычно вид неразрушающего контроля назначается путем записи в технические условия на изготовление детали.

Для удобства нанесения и облегчения восприятия информации о неразрушающем контроле рекомендуется пользоваться условными графическими обозначениями видов (табл. XVIII.2.2), методов (табл. XVIII.2.3) неразрушающего контроля в соответствии с ОСТ 1 00326—79 «Контроль неразрушающий. Обозначения условные графические

Таблица XVIII.2.2

Условные графические обозначения видов неразрушающего контроля

Вид неразрушающего контроля	Обозначение
1. Акустический	
2. Капиллярный	
3. Магнитный	
4. Оптический	
5. Радиационный	
6. Радиоволновой	
7. Тепловой	





Продолжение табл. XVIII.2.2

Вид неразрушающего контроля	Обозначение
8. Течеисканием	
9. Электрический	
10. Электромагнитный (вихревых токов)	





Примечание. Для обозначения вида неразрушающего контроля в таблице предусмотрены круг или прямоугольник, разделенный диагональю. Верхняя половина символа используется для обозначения характера физических полей и излучений, взаимодействующих с контролируемым объектом, нижняя половина — для обозначения первичного информативного параметра, способа индикации первичной информации, способа предоставления окончательной информации.

Таблица XVIII.2.3









Условные графические обозначения методов неразрушающего контроля

Методы контроля по видам	Обозначение
1. Акустический:	
а) упругий ультразвуковой	
б) упругий звуковой	
в) резонансный	
г) свободных колебаний	










Продолжение табл. XVIII.2.3

Методы контроля по видам	Обозначение
д) эмиссионный	
е) импедансный	
ж) велосиметрический	
з) вибрационно-диагностический	
2. Капиллярный:	
а) цветной	
б) люминесцентный	
в) люминесцентно-цветной	
3. Магнитный:	
а) магнитопорошковый	
б) магнитографический	









Продолжение табл. XVIII.2.3

Методы контроля по видам	Обозначение
в) магнитоферрозондовый	
г) индукционный	
4. Оптический:	
а) электромагнитный инфракрасный	
б) электромагнитный видимый	
в) электромагнитный ультрафиолетовый	
г) визуальный	
д) визуальный с применением увеличения	
е) визуальный с применением разведчиков внутренних полостей	

Продолжение табл. XVIII.2.3

Методы контроля по видам	Обозначение
5. Радиационный:	
а) рентгеновский	
б) гамма	
в) бета	
г) нейтронный	
д) позитронный	
6. Радиоволновой:	
а) электромагнитный высокочастотный	
б) электромагнитный сверхвысокочастотный	
7. Тепловой:	
а) тепловой контактный	
б) тепловой неконтактный	

Продолжение табл. XVIII.2.3

Методы контроля по видам	Обозначение
в) термографический	
г) тепловизионный	
8. Течеисканием:	
а) манометрический	
б) капиллярный	
в) акустический	
г) радиационный	
д) масс-спектрометрический	
е) химический	

Продолжение табл. XVIII.2.3

Методы контроля по видам	Обозначение
ж) галондный	
з) пузырьковый	
и) газоаналитический	
9. Электрический:	
а) электрического сопротивления	
б) электропотенциальный	
в) электроемкостный	
г) электроискровой	
10. Электромагнитный:	
а) переменного электромагнитного поля	
б) импульсного электромагнитного поля	

видов и методов контроля в конструкторской и технологической документации», а также ОСТ 1 00363—79 «Контроль неразрушающий. Обозначения условные графические общего применения».

При проектировании конструкторские отделы (бригады) совместно со специалистами отдела прочности составляют перечни мест деталей, узлов, агрегатов и систем, требующих повышенного внимания и подлежащих контролю в процессе производства, испытаний и эксплуатации; одновременно определяются периодичность контроля и нормы допустимых дефектов.

На основании разработанных перечней составляются «Указания по систематическому контролю за состоянием силовых узлов и деталей конструкции самолетов в условиях испытаний и эксплуатации».

Указания являются директивным материалом для разработки эксплуатационной и ремонтной документации на авиационную технику в соответствии с ГОСТ 18675—79.

Указания разрабатываются на основных этапах создания, испытаний и эксплуатации самолета:

- к моменту установления начального ресурса;
- к моменту установления очередных увеличенных назначенных ресурсов;
- при обосновании возможности отработки ресурса до списания.

Технический материал Указаний представляет собой набор сброшюрованных карт неразрушающего контроля.

Карты разрабатываются на стадии проектирования самолета. К их разработке привлекаются все основные отделы ОКБ.

Карты неразрушающего контроля размещаются в соответствии с нумерацией, которая отражает их принадлежность к определенным разделам, подразделам и пунктам Указаний.

Разбивка Указаний на разделы должна соответствовать технологическому членению самолета на основные агрегаты, системы и зоны конструкции, как это предусмотрено в ГОСТ 18675—79, «Иллюстративном каталоге деталей и сборочных единиц», «Регламенте технического обслуживания» и «Руководстве по ремонту самолета».

Это позволяет быстро определить зону самолета, которую нужно проконтролировать.

Указания содержат также разделы, в которых приводятся следующие основные данные:

- структура (оглавление) Указаний;
- перечень мест конструкций, требующих контроля, и периодичность контроля;
- перечни рекомендуемых средств и методов неразрушающего контроля с указанием завода-изготовителя этих средств и их технических характеристик;

— сведения о принадлежностях для контроля (эталоны, осветительные лампы, зеркала, лупы и т. п.) и материалах (рентгеновская пленка, магнитный порошок, реактивы и т. д.);

— сведения об объеме каждого из видов неразрушающего контроля и их трудоемкости по изделию в целом;

— условные обозначения средств и методов неразрушающего контроля, оборудования и материа-

лов, типовых видов дефектов, технологических (подготовительных и контрольных) операций и некоторых элементов и сочленений, которые используются в эскизах карт неразрушающего контроля.

Форма и порядок заполнения карты неразрушающего контроля (КНК) установлены ОСТ 1 00365—79 «Контроль неразрушающий. Карта неразрушающего контроля». Формы КНК необходимо применять совместно с картой эскизов (КЭ), которую следует составлять по формам 5 и 5а ГОСТ 3.1105—79.

Для удобства пользования КНК, КЭ и облегчения восприятия излагаемых в них сведений следует применять условные графические обозначения, установленные ОСТ 1 00326—79 «Контроль неразрушающий. Обозначения условные графические видов и методов контроля в конструкторской и технологической документации», и ОСТ 1 00363—79 «Контроль неразрушающий. Обозначения условные графические общего применения».

Рекомендуется следующий порядок разработки карт неразрушающего контроля (см. блок-схему).

Конструкторские отделы (бригады) разработчика на бланках КЭ выполняют эскизы с указанием зон контроля и возможного расположения дефектов в каждой зоне, а также указывают в КНК цель контроля, сведения об объекте контроля (материал, покрытие и т. д.) и нормы оценки качества.

После заполнения исходных данных КНК специалисты по неразрушающему контролю должны ознакомиться с зонами контроля непосредственно на изделии и приступить к разработке методик и технологии контроля.

После разработки КНК с КЭ передаются в издательский отдел, который готовит проект Указаний с иллюстрациями.

Проект Указаний направляется в отделы — конструкторский, эксплуатационной технологичности, эксплуатации, неразрушающего контроля для проверки, а затем заказчику для согласования.

Разработчик с учетом замечаний заказчика составляет окончательную редакцию Указаний.

Согласованные и отредактированные Указания утверждаются главным конструктором самолета и направляются заказчику, главному НИИ отрасли по контролю самолета в эксплуатации и соответствующим отделам разработчика.

Приведенная структура Указаний позволяет при необходимости относительно легко вносить в них изменения и дополнения (изъятие карты, ее замена; дополнение к карте под тем же номером, что и номер карты; введение новых карт и др.).

К моментам установления начального и очередных увеличенных назначений ресурсов на основании Указаний заказчик в установленном порядке разрабатывает дополнение к «Регламенту технического обслуживания самолета», а ведущие ре-

Схема разработки карт неразрушающего контроля



монтные заводы заказчика в установленном порядке разрабатывают дополнение к технологии ремонта.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 18831—73. Технологичность конструкций. Термины и определения.
- ГОСТ 18353—79. Контроль неразрушающий. Классификация методов.
- ГОСТ 18675—79. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия для нее. Румянцев С. В. Радиационная дефектоскопия. Изд. 2-е. М., Атомиздат, 1974.
- Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник. Под ред. Г. С. Самойловича. М., «Машиностроение», 1976.
- Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х кн. Под ред. В. В. Клюева, М., «Машиностроение», 1976.

Над созданием нормативной и директивной документации, выполнения требований которой обязательны для всех, работает большое число организаций страны.

Кроме того, создаются различные методические материалы. В частности, согласно «Методике отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения» (Госстандарт, 1975), необходимо: «... обеспечить обязательность отработки на технологичность конструкции изделия на всех ста-

диях его проектирования, производства и эксплуатации; ... при отработке на технологичность конструкции изделия, являющегося объектом эксплуатации, анализировать обеспечение требований безопасности...».

В настоящей части приведены классификация опасных и вредных производственных факторов, санитарно-гигиенические характеристики различных видов работ, указано влияние опасных и вредных производственных факторов и пути уменьшения их воздействия на работающих.

Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В процессе производства самолетных конструкций на работающих действуют различные производственные факторы, которые при известных условиях могут привести к травматизму, а при длительном их воздействии на работающих — к профессиональным заболеваниям. Отрицательное влияние ряда этих факторов можно исключить или снизить на стадии конструкторской проработки самолетных конструкций, если учитывать тенденции проявления опасных и вредных производственных факторов при изготовлении на предприятиях отрасли проектируемой конструкции.

Исходя из этого следует отдавать предпочтение таким материалам и конструкциям деталей и узлов, при работе с которыми работающие не будут подвергаться неблагоприятным воздействиям или эти воздействия будут сведены к минимуму.

Современное производство сопровождается рядом опасных и вредных факторов, которые, согласно ГОСТ 12.0.003—74, подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические, психофизиологические.

В группу физических факторов входит 26 подгрупп, характеризующих состояние машин, оборудования, заготовок, материалов, воздушной среды, рабочих мест и рабочей зоны.

Группа химических факторов подразделяется на подгруппы:

по характеру воздействия на организм человека: токсические, раздражающие, sensibilizing, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию;

по пути проникновения в организм человека через дыхательные пути, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки.

Группа биологических факторов включает биологические объекты: патогенные микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты, грибы, простейшие) и продукты их жизнедеятельности, макроорганизмы (растения и животные).

В группе психо-физиологических факторов имеются подгруппы:

физические перегрузки — статические, динамические, гиподинамия;

нервно-психические перегрузки — умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.

Во всех случаях, когда сравниваются и оцениваются варианты конструктивно-технологических характеристик проектируемых изделий, необходимо наряду с другими требованиями принимать во внимание требования, обеспечивающие безопасность труда при изготовлении изделий. Если же выбор конструктивно-технологического решения обусловлен требованиями качества конструкции или необходимостью использования наиболее прогрессивных технологических возможностей производства, то сопровождающее этот выбор отрицательное влияние на условия труда должно непременно компенсироваться надлежащими организационными, гигиеническими и санитарно-техническими мероприятиями и средствами, предотвращающими воздействие на работающих вредных и опасных производственных факторов.

Глава 2. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ САМОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

МЕТАЛЛЫ, СПЛАВЫ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В самолетных конструкциях применяется большая номенклатура металлов, сплавов и неметаллических материалов. Их химический состав, физические и механические свойства, геометрические параметры деталей и узлов определяют условия труда при работе с ними. Поэтому при конструировании следует учитывать весь комплекс их свойств и особенностей. Например, при выборе неметаллических материалов следует отдавать предпочтение нетоксичным и пожаро- взрывобезопасным веществам и материалам или использовать такие вещества и материалы, которые имеют установленные: токсикологическую характеристику, пожаро- взрывоопасные параметры, предельно-допустимую концентрацию в воздухе рабочей зоны и т. п.

Проявление опасных и вредных производственных факторов отличается большим разнообразием как по характеру их действия, так и последствиям влияния на организм работающих.

Так, наряду с весьма ценными техническими свойствами бериллия и его сплавов они обладают резко выраженными токсическими свойствами. Наиболее опасными являются растворимые соединения бериллия (фтористый, хлористый, сернокислый и др.). Среди нерастворимых соединений бериллия наиболее токсичной является окись бериллия в виде высокодисперсной пыли. Пыли, аэрозоли, газы могут быть причиной возникновения и развития заболеваний легких и верхних дыхательных путей. Длительное воздействие относительно малых концентраций пыли может привести к возникновению и развитию хронических заболеваний легких — бериллиоза.

При производстве полимерных композиционных материалов могут применяться в качестве наполнителей углеродные, борные и прочие волокна, а также жгуты, ленты, ткани из них; связующих — органические смолы (эпоксидные, полиимидные, фенольные и т. п.); в качестве растворителей могут использоваться различные органические жидкости (спирт, ацетон и др.).

Вредными при изготовлении деталей из этих материалов являются летучие примеси, которые присутствуют в малых количествах в смолах, и непосредственный контакт со смолами. В результате действия летучих компонентов смол и непосредственного контакта с используемыми материалами у работающих могут возникать заболевания органов дыхания, почек, печени, сосудистой системы, крови, кожных покровов и т. п.

ЛИТЕЙНЫЕ РАБОТЫ

На предприятиях отрасли большая номенклатура деталей изготавливается способом литья. Наибольшее распространение получили следующие способы литья: под давлением, по выплавляемым моделям, в кокиль, песчаные формы.

Литейное производство характеризуется выделением пыли, паров, газов, лучистого тепла, а также

производственным шумом и вибрацией. Наиболее постоянно, благодаря многообразию источников, выделение окиси углерода (при сушке формовочных земель, заливке форм, плавке металла, выбивке опок). Максимальные концентрации могут достигать 120 мг/м³. При этих процессах возможно поступление в воздух сернистого газа. Рабочие литейных цехов могут подвергаться влиянию лучистой тепловой энергии (сталевары, разливыщики, шкаловщики, выбивщики).

Производственный шум и вибрация характерны для формовочных, выбивных, обрубных и очистных отделений литейных цехов.

При проведении литья под давлением, благодаря возможности получения отливок из цветных металлов с чистотой поверхности до 7-го класса, значительно сокращаются объемы работ по зачистке и обрубке отливок. Процесс характеризуется тем, что работающие из-за высокой температуры, сопровождающей процесс, могут подвергаться действию лучистой энергии; в момент смазки нагретых форм в воздух выделяется акролен и углеводороды.

Среди прогрессивных с технической и гигиенической точек зрения способов изготовления деталей видное место занимают литье по выплавляемым моделям, литье под давлением цветных металлов, литье титана и специальных марок сталей в вакууме.

Так, способ литья по выплавляемым моделям позволяет использовать широкую номенклатуру материалов, обеспечивает высокий класс чистоты поверхности отливок, заданную точность геометрических размеров, что позволяет почти полностью устранить механическую обработку. Этот способ литья обеспечивает возможность механизации ряда операций, повышения культуры производства. При сушке модельных блоков в воздух выделяются пары аммиака, растворителей, а при очистке отливок — пары щелочей.

С гигиенической точки зрения менее благоприятным из вышеперечисленных способов является литье в песчаные формы, так как он, помимо опасных и вредных факторов, присущих всем способам литья, характеризуется загрязнением воздуха рабочей зоны кварцсодержащими материалами высокой дисперсности (пыль двуокиси кремния).

У рабочих литейных цехов могут появиться случаи силикоза и вибрационной болезни (обрубщики, формовщики, стерженьщики), профессиональные катаракты (плавильщики), заболевания органов дыхания, особенно бронхиты. Возможны поражения кожи в результате воздействия крепителей, содержащих активные химические соединения (фенолоформальдегидные смолы).

ЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ШТАМПОВОЧНЫЕ РАБОТЫ

Методы холодной и горячей штамповки деталей нашли широкое применение в самолетостроении. Процесс штамповки сопровождается рядом опасных и вредных производственных факторов, одним

из которых является повышенный уровень вибрации. При работе на штамповочном оборудовании работающий подвергается длительному воздействию местной и общей вибрации. В итоге это может привести к виброболеванию штамповщика. Вибробольная характеризуется поражением нервно-мышечного и опорно-двигательного аппарата и сосудистыми расстройствами с наклонностями к спазму.

Горячая штамповка, помимо опасных и вредных производственных факторов, присущих холодной, сопровождается повышенным уровнем ультрафиолетовой радиации, температурой заготовок, содержанием вредных газов, паров, аэрозолей в воздухе рабочей зоны, а также повышенным значением напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека и др. При свободной ковке, калибровке листов и деталей возможно попадание на работающего отлетающих частиц раскаленного металла.

Кроме того, холодная и горячая штамповка сопровождается повышенным уровнем шума на рабочем месте, что, при длительном воздействии ведет к заболеванию «шумовой болезнью», которая характеризуется патологическими сдвигами в слуховом аппарате, ослаблением сердечно-сосудистой и нервной систем.

Мерой защиты от шума и локальной вибрации являются средства индивидуальной защиты; от общей вибрации — размещение отдельных видов оборудования в боксах, применение вибропоглощающих материалов и др.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Процесс механической обработки резанием характеризуется тем, что он сопровождается образованием металлической стружки, металлической и минеральной пыли, дыма пригара масла и масляных аэрозолей смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), производственным шумом.

При механической обработке содержание углеводородов и аэрозолей масел в воздухе может колебаться в значительных пределах (концентрация углеводородов может достигать 150—940 мг/м³ при ПДК 300 мг/м³, а аэрозоля масел — 7—45 мг/м³).

При шлифовке и зачистке изделий на искусственных абразивах основным неблагоприятным фактором является пыль с содержанием кристаллической двуокиси кремния от 2,5—9,5 мг/м³ (ПДК — 4 мг/м³). Снижение загрязнения воздушной среды при этом виде обработки должно обеспечиваться удалением этих выделений из рабочей зоны.

Под влиянием вредных и опасных производственных факторов у рабочих-станочников могут возникнуть нарушения состояния здоровья. Входящие в состав СОЖ минеральные масла и приготовленные на их основе эмульсии при длительном контакте могут вызывать у работающих поражение кожного покрова в виде масляных фолликулитов, угрей и дерматитов. Возможно раздражающее действие аэрозолей СОЖ на слизистые оболочки верхних дыхательных путей.

При механической обработке более прогрессивной является обработка на станках с ЧПУ, так

как она дает возможность автоматизировать и механизировать процесс обработки и сократить время пребывания работающего в зоне интенсивного выделения пыли.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

К электрическим относятся методы, при обработке которыми электрическая энергия реализуется непосредственно на обрабатываемой поверхности.

Электроэрозионный способ имеет в своей основе электротермические процессы (плавление микрообъектов металла на поверхности). К нему относятся электроискровая, электроимпульсная, анодно-механическая, электроконтактная, электронно-лучевая обработка. Основными опасными и вредными производственными факторами при этих видах обработки являются: повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; повышенный уровень шума, в рабочей зоне; повышенный уровень ионизирующего излучения в рабочей зоне (рентгеновское излучение, электрический разряд и т. п.); подвижные части производственного оборудования, передвигающиеся детали и т. п., а также наличие пожаро- взрывоопасной среды (масло, керосин).

При электроискровой и электроимпульсной обработке в качестве диэлектрической жидкости, окружающей электроды, применяется масло или керосин, аэрозоли которых могут раздражать слизистые оболочки и кожу. При длительном воздействии возможны головные боли, головокружение, боли в области сердца.

Процесс электроискровой обработки сопровождается выделением в воздух рабочей зоны окиси углерода.

Электроимпульсная обработка является менее благоприятной, чем электроискровая, так как при ее проведении возможен перегрев, могущий вызвать воспламенение рабочей среды.

При анодно-механической и электроконтактной обработке в качестве электролита применяется жидкое стекло с полисиликатами и едкими щелочами (ПДК — 0,5 мг/м³, класс опасности 2). Вредно воздействуют на организм работающего аэрозоли, пары, брызги электролита. Жидкое стекло в виде мелких брызг или тумана может раздражать слизистые оболочки верхних дыхательных путей, попадать в глаза, вызывать ожоги.

Менее благоприятной является черновая анодно-механическая обработка (разрезка и обдирка), так как она сопровождается повышенным выделением вредных веществ.

При электронно-лучевой обработке основными потенциальными источниками опасности являются источники питания рентгеновского и ультрафиолетового излучения.

К прогрессивным методам относятся электрохимические методы обработки (анодное растворение). Распространено объемное копирование, электрохимическое шлифование и протягивание. В качестве электролитов при этих видах обработки используются растворы нейтральных солей.

К электрофизическим методам относится ультразвуковая обработка, при проведении которой в

качестве электролита используется абразивная эмульсия и обработка с помощью лазерного излучения (резание, прошивание, сварка).

При ультразвуковой обработке на организм работающих может действовать шум на частотах 5—7 кГц, звуковое давление и химические вещества, входящие в состав жидкой среды. При длительном воздействии интенсивного ультразвука и звукового давления у работающих наблюдаются снижение слуховой чувствительности, возможны изменения в крови, нервной и сердечно-сосудистых системах.

Обработка с помощью лазерного излучения может проводиться в режиме непрерывного генерирования лазерного или импульсного излучения. Опасные и вредные производственные факторы, возникающие при работе с лазерами: лазерное (прямое, рассеянное, отраженное), световое, ультрафиолетовое и ионизирующее, инфракрасное и тепловое излучения; запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны и др.

Основными решениями, обеспечивающими безопасность работы при электрических методах обработки, являются:

- механизация и автоматизация процесса;
- применение вентиляции;
- дистанционное наблюдение за ходом процесса с помощью телевизионных устройств и телеоптики;
- применение защитных ограждений с блокировками.

СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ

В отрасли большее распространение нашли: ручная, полуавтоматическая и автоматическая дуговая, контактная, электронно-лучевая, газовая, атомно-водородная, лазерная и диффузионная сварка. Из них наиболее гигиеничны электронно-лучевая, атомно-водородная и диффузионная сварка.

Электронно-лучевой метод сварки проводится в вакууме и является наиболее прогрессивным как с технической, так и с гигиенической точки зрения, так как исключает возможность загрязнения воздушной среды аэрозолями, позволяет механизировать и автоматизировать технологический процесс. В то же время работающие могут подвергаться действию рентгеновского и светового излучений, высокого напряжения. Исключение и снижение их влияния на работающих должно достигаться разработкой соответствующих решений, применением необходимых средств защиты. Так, защита от рентгеновского излучения на установках достигается экранированием источников излучения. Ввиду того, что диффузионная сварка проводится в вакууме, исключается возможность воздействия на работающих лучистой энергии и мелкой дисперсной пыли.

При проведении дуговой сварки потенциальными источниками опасности могут быть: повышенные уровни напряжений в электрической цепи, ультрафиолетовых и инфракрасных излучений, загрязнение воздуха рабочей зоны вредными сварочными аэрозолями, содержащими фтористые соединения и марганец. При контактной сварке работающие могут подвергаться воздействию переменных маг-

нитных полей рассеивания, интенсивного шума, искр и брызг расплавленного металла.

При газовой сварке работающие могут подвергаться действию вредных газов, паров, пыли и окислов металлов, которые необходимо удалять из рабочей зоны. При сварке могут образоваться взрывоопасные смеси, которые способны взрываться от искр любого происхождения.

Для снижения воздействия на работающих вредных и опасных производственных факторов при дуговой, контактной и газовой сварке необходимы комплексная механизация и автоматизация процессов сварки, удаление вредных веществ из рабочей зоны и применение средств защиты.

ПАЙКА

С расширением применения в самолетостроении легированных и специальных сплавов возрастают объемы работ, выполняемых пайкой. Различают два способа пайки: по источнику нагрева и методу удаления окисной пленки.

Постоянными источниками опасности для работающих при проведении пайки являются высокая температура расплавленных металлов и флюсов, выделение паров металлов и газов (окислов солей и щелочей), рентгеновские и световые излучения, опасность взрыва и опасный уровень напряжения.

В способе пайки по источнику нагрева наиболее благоприятной является пайка электронным лучом, проходящая в вакуумных электронно-лучевых установках. Так, пайку титановых сплавов из-за высокой активности проводят при 1000 °С в вакууме и в печах с инертным газом (аргон, гелий), что исключает воздействие на работающих вредных и опасных производственных факторов.

В способе пайки по методу удаления окисной пленки наиболее благоприятной является пайка в вакууме.

Из применяемых в отрасли припоев наиболее неблагоприятными являются оловянно-свинцовые и медно-цинковые, так как они выделяют вредные пары цветных металлов и токсичных веществ, которые могут вызвать отравление организма, поражение кожи, раздражение слизистой оболочки глаз.

Из металлов, входящих в состав припоев, наиболее вредное воздействие на организм работающих оказывают литий, калий, натрий, медь, кадмий, свинец, марганец, цинк. Например: соединения кадмия независимо от их состояния (пыль, дым, пары, туман) токсичны, вдыхание паров и высокодисперсных твердых частиц меди может привести к заболеванию «литерной лихорадкой» и катарам верхних дыхательных путей и т. п.

В зависимости от обрабатываемого материала для защиты от окисления применяют флюсы. Так, для пайки магниевых сплавов применяют фториды щелочноземельных металлов, которые могут оказывать вредное воздействие на работающих. А для пайки алюминиевых сплавов в качестве флюсов применяют хлористый цинк, хлористый литий, хлористый калий, которые также являются токсичными.

Безопасность работы при пайке должна обеспечиваться механизацией и автоматизацией процессов пайки и применением необходимых средств защиты.

ТЕРМООБРАБОТКА

На заводах отрасли смягчающая и упрочняющая обработка производится в вакууме, в защитной и окислительной атмосферах, в растворах расплавленных солей, а химико-термическая (азотирование, цементация и т. п.) — в жидких и газовых средах.

Термообработка в вакууме, в сравнении с другими видами термообработки, с гигиенической точки зрения более благоприятна, но при ее проведении следует соблюдать необходимые меры предосторожности, исключающие возможность появления взрывоопасной ситуации.

Ввиду того, что обработка в защитных атмосферах проводится при высоких температурах (от 450 до ~1000 °C) с применением в большинстве случаев токсичных и взрывоопасных газов, ее выполнение требует строгого соблюдения необходимых мер предосторожности и соответствующих средств защиты. Так, применяемые при этом виде обработки эндотермические и экзотермические среды, разлагаясь, выделяют углекислый газ, метан, водород.

Нагрев заготовок и деталей из-за отсутствия качественного оборудования осуществляется в печах с окислительной атмосферой. При их нагреве происходят теплогазовыделения (лучистое тепло, окись углерода, сажа), которые оказывают вредное влияние на работающих.

После проведения нагрева в вакууме, в защитной, окислительной атмосфере и в расплаве солей детали и узлы охлаждаются на воздухе или в жидких средах (вода, масло, соляные и щелочные растворы и т. п.). Процесс охлаждения сопровождается вредными теплогазовыделениями, которые оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки дыхательных путей, глаз.

При проведении химико-термической обработки выделяются токсичные и взрывоопасные газы (водород, окись углерода, метан, пропан, эндогаз и др.) в значительно большем количестве, чем при термообработке в защитных средах.

Для удаления теплогазовыделений, образующихся при термообработке, следует использовать местные вытяжные устройства, которые должны обеспечивать в рабочей зоне состав воздуха без превышения допустимых санитарными нормами уровней теплоизлучения и концентраций вредных веществ.

РАБОТА С НЕМЕТАЛЛАМИ

Неметаллы широко применяются при изготовлении грузовых отсеков фюзеляжа, крыльевых отсеков, кабины пилота и т. п.

При изготовлении композиционных волокнистых материалов на основе стекло-, боро- и углепластиков в качестве связующих применяются различные органические смолы (эпоксидные, кремнийорганические, полиимидные, полиэфирные и т. п.). Связующие при операциях пропитки и термоотверждения выделяют в воздух рабочей зоны летучие компоненты. Большинство летучих является вредными веществами, они могут отрицательно действовать на организм работающих (нервную систему, кровь, печень, почки, сосудистую систему

и т. п.). Кроме того, многие компоненты неметаллических материалов являются наркотиками и аллергенами.

Борные, углеродные и стеклянные волокна в процессах намотки и механической обработки, ввиду их большой жесткости и хрупкости, образуют пыль, которая может оказывать неблагоприятное воздействие на органы дыхания работающих и открытые участки кожи, вызывая зуд.

Борные волокна обладают способностью прокалывать кожный покров, остатки волокон трудно извлекаются из кожи, в результате чего у работающих могут появляться нарывы.

Снижение воздействия на работающих вредных и опасных производственных факторов при получении полимерных композиционных материалов необходимо осуществлять путем комплексной механизации и автоматизации процессов с применением средств защиты.

В отрасли широкое применение находят вибро-, звуко- и теплоизоляционные покрытия из жесткого пенополиуретана. Применяются два способа получения покрытий: пневматический (на принципе инъекции и с помощью сжатого воздуха) и заливка в формы.

Существующие процессы напыления и вызревания жесткого пенополиуретана сопровождаются загрязнением внешней среды рядом токсичных веществ (толуилендиизоцианат, триэтиламин, трихлорэтилфосфат и др.), которые необходимо удалять из рабочей зоны, так как эти вещества действуют на органы дыхания и кожу. Наибольшую опасность из них представляет толуилендиизоцианат: обладает выраженными токсическими свойствами и способностью к накоплению в организме.

Метод напыления, основанный на принципе инъекции, более благоприятен в гигиеническом отношении: при его проведении создаются лучшие условия труда. При использовании способа нанесения пенополиуретана с помощью сжатого воздуха (до 5 атм) воздушная среда значительно загрязняется токсичными веществами, входящими в состав рецептур.

Для создания герметичности топливных баков, кабин и других узлов в отрасли применяются герметики на полисульфидной, кремнийорганической и других основах. При проведении процесса герметизации на работающих могут оказывать вредное воздействие пары токсичных и пожароопасных растворителей (циклогексанон, этилацетат, бутилацетат, бензин, ацетон и др.) и вулканизирующие агенты (оловоорганические соединения), входящие в состав герметиков.

При создании процессов герметизации для снижения опасных и вредных факторов следует предусматривать замену вредных и пожароопасных веществ менее вредными и негорючими веществами; разработку герметиков, не содержащих токсичных компонентов; безрастворных (пленочных) герметиков; новых способов обезжиривания; создание более технологичных конструкций, позволяющих избежать герметизации внутри отсеков или значительно сократить ее объем, то есть проведение в отсеках герметизации только тех соединений, которые невозможно загерметизировать в подбор-

ках; проводить герметизацию всех видов соединений, которые можно выполнить без установки замыкающей панели; по возможности применять способы герметизации, позволяющие избежать работ внутри отсека.

Использование средств коллективной и индивидуальной защиты работающих с неметаллическими материалами является действенным способом, позволяющим снизить, иногда и устранить, возникающие опасные и вредные производственные факторы при изготовлении деталей и агрегатов из полимерных композиционных материалов.

СБОРОЧНЫЕ РАБОТЫ И НАЗЕМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Сборка является завершающим звеном в технологической схеме создания самолета. Большое место в сборочных работах отводится агрегатной и окончательной сборке.

При сборке крыльевых отсеков, фюзеляжа, хвостового оперения и других узлов значительный объем занимают сверлильно-зенковальные, клепальные, выколочные и доводочные работы. Не все они выполняются на автоматизированном или механизированном оборудовании. Для них характерно применение ручного инструмента ударного и вращательного действия. При работе с ним генерируются шум и вибрация, которая передается на руки работающих.

Вибрация и шум оказывают неблагоприятное воздействие на организм работающего и могут привести к возникновению вибрационной болезни и нарушению слуха.

При создании неразъемных соединений следует отдавать предпочтение прогрессивным с гигиенической точки зрения безударным методам, таким, как прессовая и односторонняя клепка.

В самолетостроении ряд деталей и узлов изготавливается с помощью клееклепанных соединений. Их применение за счет уменьшения числа заклепок позволяет в ряде случаев снизить объем клепальных работ. Однако создание клееклепанных соединений связано с использованием жидких и пленочных клеев на основе органических смол (фенолформальдегидных, полиимидных, эпоксидных и др.). Клей и выделяющиеся при их отверждении вредные вещества могут вызвать вредное воздействие на работающих (поражение органов дыхания, зрения, кожного покрова).

Снижение вредного воздействия на работающих должно достигаться механизацией и автоматизацией процессов, увеличением применения пленочных клеев (13% летучих против 70% у жидких), применением временных вентиляционных укрытий из негорючих материалов и необходимых средств защиты.

При проведении наземных испытаний, вследствие проявления дефектов в системах, может появиться ряд отрицательных факторов: поражение электротоком, воздействие на работающих СВЧ, а также движущихся элементов самолетов (закрылок, щитков, элеронов) и т. п.

Так, при разрыве трубопроводов гидросистемы с жидкостью НГЖ-4 в воздух рабочей зоны могут попасть вредные аэрозоли жидкости. А при разры-

ве трубопроводов гидросистемы с жидкостью АМГ-10 появляется опасность пожара.

Заключение

Основными путями снижения воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов являются:

— соблюдение требований санитарных и строительных норм, правил, ОСТов и ГОСТов по безопасности труда;

— комплексная механизация и автоматизация процессов;

— создание безопасного оборудования и принятие решений, обеспечивающих безопасность работы.

Вопрос выбора материалов, заготовок и методов обработки или изготовления заслуживает самого пристального внимания, так как недоработки на каждой стадии создания самолетов могут повлечь за собой появление на производстве опасных и вредных производственных факторов, которые в ряде случаев из-за ограниченных возможностей производства не удастся снизить до установленных норм.

ЛИТЕРАТУРА

ГОСТ 12.0.003—74 «Опасные и вредные производственные факторы».

ГОСТ 12.0.002—80 «Система стандартов безопасности труда. Основные понятия. Термины и определения».

ГОСТ 12.3.002—75 «Производственные процессы».

ГОСТ 18970—73 «Обработка металлов давлением».

ГОСТ 17349—79 «Пайка. Способы».

ОСТ 1.41600—75 «Литье под давлением силовых деталей из алюминиевых сплавов».

ОСТ 1.41154—72 «Отливки из сплавов на основе алюминия, магния, меди, свинца и цинка».

ОСТ 1.41342—72 «Безоблойная штамповка из цветных металлов».

ОСТ 1.51728—73 «Оснастка для штамповки листовых подсечек эластичной средой».

ОСТ 1.41538—74 «Высокоскоростная штамповка».

ОСТ 1.41539—74 «Холодное вальцевание».

ОСТ 1.41657—76 «Пайка теплообменников из коррозионно-стойких нержавеющих сталей электронным лучом».

Временные рекомендации по технике безопасности при работе с полимерными композиционными материалами. НИАТ, 1975.

Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью. М., Машгиз, 1962.

Конюшков Г. В. Диффузионная сварка в электронике. М., 1974.

Крымов А. С. Техника безопасности и производственная санитария при работе с магниевыми сплавами. М., 1968.

Макурин П. И. Требования безопасности в литейных цехах. Справочник, М., «Машиностроение», 1968.

Научно-технический прогноз развития технологии и оборудования в области термообработки на 1976—1990 гг. НИАТ, 1973.

Пермяков Н. И. Гидровзрывная штамповка днищ. М., «Машиностроение», 1966.

Поважук Г. М. и Кравец Б. С. Техника безопасности при сварочных работах. Киев, 1976.

Поволоцкий Б. А. Требования безопасности при холодной обработке металлов. М., 1972.

Правила по технике безопасности и промсанитарии при работе с эпоксидными смолами и материалами на их основе. НИАТ, 1972.

Правила по технике безопасности и промсанитарии при клепально-сборочных работах. НИАТ, 1971.

Райхер С. А. Техника безопасности в термических цехах. М., «Машиностроение», 1966.

Седыкин Ф. В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин. М., «Машиностроение», 1976.

Прогресс авиационной техники предъявляет повышенные требования к точности воспроизведения обводов самолетов, а быстрая сменяемость изделий обуславливает необходимость изыскания способов сокращения цикла и трудоемкости технологической подготовки их производства.

В подготовке производства самолетов работы по изготовлению плазов, обводообразующей, контрольно-эталонной и другой увязочной оснастки по объему, циклу изготовления, трудоемкости и своей значимости в вопросах обеспечения точности производства изделий занимают одно из первых мест.

Длительный цикл и значительная трудоемкость работ обусловлены тем, что предприятия отрасли при изготовлении и увязке технологической оснастки и деталей применяют плазово-шаблонный метод, внедренный в производство более 30 лет назад. Сущность его состоит в том, что проектирование и увязку наружных контуров и конструкции каркаса агрегатов планера выполняют в натуральную величину на плазах, а технологическую оснастку изготавливают по шаблонам, снятым с плазов, а также по эталонам и другим жестким носителям форм и размеров. В условиях постоянно растущих требований, предъявляемых к производству самолетов, этот метод, в силу ряда присущих ему недостатков, стал узким местом подготовки производства.

Основными недостатками плазово-шаблонного метода являются:

— большой объем ручных работ;

— многоступенчатость процесса увязки и переноса геометрических форм и размеров от плаза до деталей изделия через совокупность шаблонов, эталонов и т. д.;

— низкая точность изготовления оснастки и изделия;

— узкий фронт работ, вызванный большим числом последовательно связанных этапов.

Многие предприятия отрасли до сих пор расчерчивают плазы и изготавливают обводообразующую оснастку вручную. Это обуславливает длительный цикл, высокую трудоемкость и низкую точность увязки оснастки.

Необходимость обеспечения ускоренного запуска в производство новых образцов авиационной техники требует разработки качественно нового подхода к вопросам подготовки производства и прежде всего к задачам автоматизации плазово-шаблонных работ.

Основное направление работ по совершенствованию подготовки производства самолетов состоит в переходе к непосредственному изготовлению оснастки по данным теоретических и конструктивных чертежей, минуя плаз. Решение этих проблем возможно на основе системного подхода к вопросам аналитического задания поверхностей и комплексного использования средств электронно-вычислительной техники (ЭВТ) и оборудования с ЧПУ.

Глава 1. СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ЗАДАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ САМОЛЕТА И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Поверхность самолета должна обладать рядом геометрических свойств, удовлетворяющих, в первую очередь, требованиям законов аэродинамики.

Проектирование внешней формы планера самолета — решение совокупности задач, в результате определяются данные, необходимые и достаточные для воспроизведения в процессе производства изделий теоретических поверхностей всех его агрегатов. Оно складывается из двух следующих друг за другом этапов: собственно проектирования планера самолета и задания его геометрических форм (задание поверхности).

Результат проектирования — компоновочный эскиз как графическая форма представления информации о внешних формах самолета. Он должен содержать все исходные данные для задания геометрических форм аэродинамических поверхностей. Задание геометрических форм самолета — процесс нахождения математических закономерностей, в результате которого из множества поверхностей, соответствующих спроектированной конфигурации самолета, выделяется единственная. Результат задания — теоретический чертеж плюс числовая информация об аэродинамических по-

верхностях самолета. Способы задания поверхностей самолета условно можно разделить на каркасные и кинематические.

При каркасном способе поверхность задается совокупностью линий и точек. Однозначное определение положения точки на поверхности возможно лишь для точек, лежащих на заданных линиях, то есть на каркасе поверхности. К каркасному относят следующие методы задания поверхностей:

- графический метод батоксов и горизонталей;
- аналитический метод аппроксимации поверхностей;
- различные методы задания с помощью дискретно заданных сечений.

При каркасном способе поверхность задается не непрерывно, а дискретно, то есть точки поверхности, не лежащие на каркасе, определяются аппроксимированно. Это является его существенным недостатком при переходе на автоматизированные методы расчета геометрической информации на ЭВМ и изготовления обводообразующей оснастки и деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Область использования данного способа сужается.

При кинематическом способе задания поверхности математически (различными аналитическими методами) задаются граничные поперечные сечения отсеков поверхности с последующим определением и представлением в виде математических зависимостей линий их связи. Следовательно, построение поверхности происходит за счет переме-

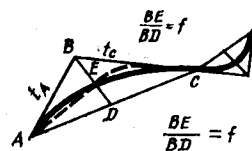
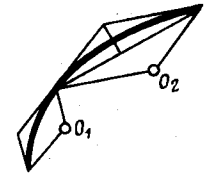
щения образующей переменной формы в соответствии с заданными линиями связи. Данный способ позволяет точно и однозначно определить положение любой точки на поверхности. В этом его основное отличие и преимущество перед каркасным способом задания. Кинематический способ находит все более широкое применение. С его помощью можно создать математическую модель поверхности и решить вопросы оперативного выполнения всего комплекса расчетов геометрической информации на основе автоматизированных систем.

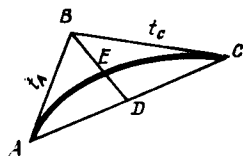
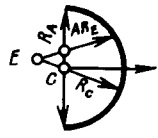

Обязательным условием обеспечения эффективности комплексного использования средств ЭВТ и оборудования с ЧПУ в подготовке производства и создания предпосылок для перехода к независимому методу изготовления элементов изделия должен стать переход на системные автоматизированные методы расчета геометрической информации. Он возможен в случае представления геометрической информации об аэродинамических поверхностях самолета в виде математической модели.

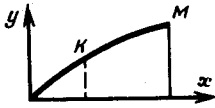
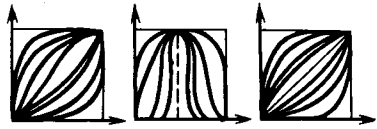
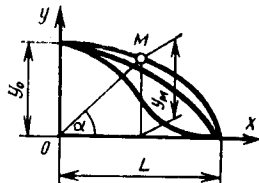


В практике ОКБ и заводов широкое применение нашли аналитические методы задания, которые используются как при каркасном, так и при кинематическом способах задания аэродинамических поверхностей (см. таблицу XX.1.1). Аналитическое задание поверхностей агрегатов планера — завершающий этап работы ОКБ по проектированию внешних форм самолета.

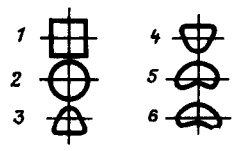

Таблица XX.1.1

Основные способы задания образующих и линий связи аэродинамических поверхностей

№ п/п	Способ	Сущность способа
1	Инженерный (способ треугольника)	<p>Приближение задающей кривой к исходному контуру осуществляется варьированием величины дискриминанта f и направлениями касательных t_A, t_C</p> $ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + t = 0$ 
2	Бездискриминантный (способ сопряженных дуг эллипсов)	<p>Задание осуществляется тремя способами:</p> <ul style="list-style-type: none"> — графически; — графо-аналитически; — аналитически $f = \sqrt{2} - 1 = \text{const}; y = P_x + Q \pm \sqrt{Rx^2 + Sx + T}$ 

№ п/п	Способ	Сущность способа
3	Параболография (способ сопряженных дуг, парабол)	<p>Приближение задающей кривой к исходному профилю осуществляется варьированием направлений касательных t_A и t_C.</p> $f = \frac{BE}{BD} = 0,5 = \text{const. } y = P_x + Q \pm \sqrt{Sx + T}$ 
4	Аппроксимация квадратными параболami частного и общего положения	$y = a_0 + a_1x + a_2x^2;$ $y = P_x + Q \pm \sqrt{Sx + T}.$ <p>Процесс аппроксимации по программе на ЭЦВМ</p>
5	Задание кривыми второго порядка по методу наименьших квадратов	$\Phi = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + 2bx_iy_i + cy_i^2 + 2dx_i + 2ey_i + f)^2 = \min.$ <p>Процесс задания по программе на ЭВМ</p>
6	Задание контура кривыми второго порядка в параметрической форме	$x = x_A + \frac{(x_C - x_A) + (x_B - x_A) \cdot t}{1 + t + \gamma + 2};$ $y = y_A + \frac{(y_C - y_A) + (y_B - y_A) \cdot t}{1 + t + \gamma + 2};$ $z = z_A + \frac{(z_C - z_A) + (z_B - z_A) \cdot t}{1 + t + \gamma + 2};$ <p>где t — параметр; γ — коэффициент уравнения $\gamma = \frac{(1-f)}{2f}$; f — дискриминант</p>
7	Радиусография (способ сопряженных дуг окружностей)	<p>Приближение задающей кривой к исходному контуру осуществляется изменением местоположения центров радиусов A, E, C</p> $y = b \pm \sqrt{R^2 - (x - a)^2}$ 
8	Аналитическое задание контура полиномами	<p>Задание аналитическое — полином контур</p> $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n$ 

№ п/п	Способ		Сущность способа
9	Аналитическое задание контура суммами парабол высших степеней		$\bar{y} = b_1 \bar{x}^{m_1} + b_2 \bar{x}^{m_2} + b_3 \bar{x}^{m_3} + \dots + b_n \bar{x}^{m_n}.$ <p>Задание аналитическое</p>
10	Задание контура степенными уравнениями	Уравнения типа $\bar{y} = [4x(1-x)]^m$	<p>Задание графо-аналитическое с использованием таблиц логарифмов</p> 
11		Уравнения вида $y = [K(x^\alpha + x^\beta)]^\gamma$ для поперечных обводов	<p>Задание графо-аналитическое</p> 
12	Трансцендентные уравнения		$x = \frac{L}{d} \cos \alpha; \quad y = y_0 \cdot \sin^\eta \alpha + b; \quad \text{где } \eta = \frac{\lg \frac{1}{y_m}}{\lg \sin \alpha}.$ <p>Задание графо-аналитическое с использованием логарифмических и тригонометрических таблиц</p> 
13	Аэродинамически подобные уравнения	Аэродинамических профилей (R-функции)	$\begin{cases} x_p^4 - 2x_p^3 + \frac{n^2-1}{n^2}x_p^2 - \frac{1}{n^2}[(1-m^2)x^2 + m^2x] = 0; \\ y = 4bc(x_p - x_p^2) \end{cases}$ 
14		Аэродинамического контура	$x = -b \left[\frac{1}{2} (\cos \theta - 1) + \frac{1}{4} \lambda (\cos 2\theta - 1) \right];$ $y = \frac{b}{2} \sin \theta [\mu(x) + \lambda(1 - \cos \theta)]$ 

№ п/п	Способ	Сущность способа
15	Деформации шпангоута для поперечных обводов	$y = c \pm (1 \pm c) (\pm b) \cdot \left[\left(\pm \sqrt{\frac{1-x^2}{1-mx^2}} \right) \right] + a \cos \frac{\pi}{2} x$ 
16	Сплайн-функции	$P_i(x) = \sum_{\lambda=0}^3 d_{\lambda}^i (x - x_i)^{\lambda}$ 

Процесс задания включает два этапа: подбор аналитических закономерностей; аналитическое задание поверхностей самолета и расчет их геометрических параметров, необходимых для формирования математической модели аэродинамической поверхности. Каждый из методов аналитического задания — это математическая форма представления и существования геометрической информации о поверхности самолета. Но многие из них существенно отличаются друг от друга и требуют для своей реализации совершенно отличных математических приемов, алгоритмов расчета и т. п.

Многообразие используемых методов в настоящее время тормозит создание математических моделей поверхностей изделия. Оно порождает ряд технологических трудностей при передаче изделия из ОКБ на серийные заводы, в частности затрудняет кооперацию матобеспечения между ними. Необходим выбор базовых методов задания с обязательным их использованием в качестве основных в практике ОКБ и заводов отрасли.

Наибольшее распространение получил метод задания кривыми второго порядка как наиболее рациональный, менее трудоемкий в расчетах и прагматичный для работы на клавишных и электронно-клавишных машинах. Из последних разработок перспективы для распространения в отрасли имеет метод задания с помощью сплайн-функций как наиболее универсальный и гибкий, основанный на методе вычислительной математики.

Метод сплайн-функций — аналитический метод построения контура на базе теории упруго-статического равновесия стержня (рейки) с опорами в не-

которых точках. Он базируется на математической теории построения контура по дискретно-заданным точкам и каким-либо дополнительным условиям; при этом достигается выполнение требования гладкости контура.

Метод задания контуров и поверхностей агрегатов планера не имеет первостепенного значения для технологических служб, но он должен обеспечивать как однозначное определение любой точки на контуре и на поверхности, так и возможность формирования математической модели данной поверхности в памяти ЭВМ. Разработку математических методов целесообразно выполнять в первую очередь для базовых методов задания, рекомендованных в качестве основных.

Математическая модель поверхностей изделия и его конструкции должна создаваться на этапе проектирования и служить единой информационной базой, в основу которой должен быть заложен единый метод описания геометрических форм для базовых методов задания по рекомендациям ЦАГИ.

Основу единой информационной базы математической модели поверхности должен составлять неизменяемый массив данных (НМД), которые заложены в память ЭВМ и будут служить входными данными для автоматизированной подсистемы геометрических расчетов. В этом случае подсистема будет сориентирована на базовые методы описания поверхностей самолета. Кроме того, НМД будет использоваться как первоисточник геометрической информации при подготовке управляющей информации для оборудования с ЧПУ.

Глава 2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ АГРЕГАТОВ ПЛАНЕРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В настоящее время каждое изделие требует, в среднем, решения около 700 инженерно-геометрических задач, на которые затрачивается до 20 тыс. нормо-часов.

В связи с этим особое значение приобретает применение в расчетных группах плазово-шаблонных цехов новых методик, алгоритмов и систем их расчета с использованием электронно-вычислительной техники. Инженерно-геометрические задачи по расчету геометрических параметров самолетов включают в себя комплекс технических вопросов и геометрических условий, требующих доказательства, построения или вычисления на основе теорий и правил.

Если геометрические условия задач не зависят от типа производства, то комплекс технических вопросов, дополняющий постановку инженерно-геометрических задач, диктуется масштабами и спецификой конкретного производства.

Инженерно-геометрические задачи, решаемые на серийных предприятиях, отличаются от задач, решаемых в конструкторских бюро на опытных предприятиях, следующими особенностями.

1. Нестабильность способов задания теории поверхностей агрегатов самолета.

Один и тот же завод может изготавливать сегодня изделия одной конструкции, а завтра — другой или одновременно несколько типов изделий различных ОКБ, которые предлагают «свои» способы задания поверхностей.

2. Разнообразие решаемых задач, что объясняется сложностью конструкции и технологии изготовления современных изделий.

3. Однотипность, определяемая едиными методиками решения задач.

4. Большая трудоемкость расчетных работ, обусловленная их значительным количеством.

5. Оперативность решения расчетных задач, которая вызывается необходимостью в сжатые сроки разрешать возникающие производственно-технические вопросы для своевременного выполнения плана производства изделий.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

1. Унификация аналитических способов задания поверхностей.

2. Разработка алгоритмов и составление методик решения задач.

3. Разработка автоматизированных систем составления программ на ЭВМ.

4. Составление программ на «малую» вычислительную технику.

5. Разработка рекомендаций и технических условий на составление чертежей деталей и изделий и оснастки с учетом их автоматизированного изготовления на оборудовании с ЧПУ по программе.

Первоочередной задачей является систематизация и классификация инженерно-геометрических задач, которые должны быть выполнены с учетом специфики следующих составляющих их групп и условий:

1. Агрегатные группы изделий, которые включают в себя задачи по нескольким типовым агрегатам.

2. Группы с одноименными геометрическими параметрами различных частей изделия.

3. Условия на количество геометрических параметров.

4. Условия на конструктивно-технологические особенности агрегатов.

5. Условия на способы задания поверхностей, принятых в самолетостроении.

6. Геометрические признаки (метрические, позиционные).

7. Специфика программирования на ЭВМ.

8. Сложность решения (простые, сложные).

9. Трудоемкость решения (массовые, часто встречающиеся, редкo встречающиеся).

Метод классификации задач по агрегатному принципу состоит в том, что их подразделяют соответственно конструктивно-технологическому членению самолета.

Число геометрических параметров классификация учитывает, исходя из задач расчета теоретического контура сечения, включающего в себя, помимо определения координат точек, углы наклона касательных в них, а также малки в этих точках (три параметра).

Конструктивно-технологические особенности агрегатов учитываются при составлении классификации в каждом случае по-разному. Например, координаты реперных точек крыла рассчитываются от базовых теоретических плоскостей. Их нужно перенести от единой теоретической горизонтальной плоскости.

В зависимости от способа задания поверхностей агрегатов возникают различные задачи. Например, дискретное задание ставит задачу аппроксимации контуров; задание способом кривых второго порядка определяет задачи непосредственного расчета кривых, заданных уравнениями.

Учет геометрического признака заключается в том, что метрические и позиционные задачи выделены отдельно. Классификация учитывает и специфику программирования задач на ЭВМ.

Сложность решения расчетных задач тоже находит свое отражение в классификации. Например, плоскостные задачи выделены от пространственных и т. д. Кроме того, в классификации предусмотрено дифференцирование задач на массовые, часто встречающиеся и редко встречающиеся. Например, к массовым относятся задачи пересчетов массивов точек из одной системы координат в другие; к часто встречающимся — задачи расчета плоских и пространственных кривых; к редко встречающимся — задача расчета криволинейного шпангоута.

При классификации в качестве основного признака выбран агрегатный. Он наиболее правильно отвечает нуждам и запросам плазово-шаблонных цехов и всех служб завода. Это объясняется особенностями инженерно-геометрических задач, а также следующими соображениями:

а) агрегатный признак в настоящее время в основном определяет выбор способа задания поверхностей самолета, что является важным фактором;

б) классификация задач по агрегатному признаку позволяет раскрыть конструктивно-технологические особенности узлов и деталей, геометрические параметры которых подлежат определению, что не менее важно при выборе способа решения инженерно-геометрических задач;

в) агрегатная классификация дает возможность:
— выявить общие закономерности отдельных алгоритмов по различным агрегатам и объединить их в одно целое;

— быстро отыскать ту или иную ранее решенную задачу среди их большого количества (элемент оперативности);

г) агрегатная классификация удобна при решении комплекса задач на ЭВМ, кодировании их и записи исходной числовой информации (теоретических чертежей) при разработке систем.

Краткий перечень и характеристика классифицированных множеств задач

Инженерно-геометрические задачи систематизированы и разделены на пять подгрупп.

Первая подгруппа включает в себя плоскостные задачи по расчету геометрии агрегатов в плановой и боковой проекциях, задачи по определению размеров по осям конструктивных элементов.

Вторая подгруппа содержит задачи расчета контуров сечений поверхностей агрегатов.

Отдельно выделены задачи по расчету контуров окантовок дверей, люков, проемов и других конструктивных и технологических отверстий. Это — расчеты сечений общего положения поверхностей,

образованных эквидистантами в нормальных сечениях агрегатов.

В третью подгруппу входят специфические задачи, связанные с увязкой пространственных систем.

Основными среди них являются задачи стыковых узлов и их положения относительно межагрегатных и межсекционных стыков в различных системах координат. К ним относятся расчет проекций линий пересечения агрегатов (обрезы агрегатов, практические и теоретические) на различные плоскости; пересчет пространственных координат характерных точек агрегатов из системы в систему, а также задачи расчета пространственных углов между плоскостями агрегатов, в особенности для самолетов с изменяющейся геометрией крыла в процессе полета.

Четвертая подгруппа задач определяет геометрические параметры деталей, образующих сечения агрегатов (деталей силового набора сложной пространственной конфигурации). Здесь определяются длины пространственных кривых, прогибы кривых. К этой подгруппе относятся задачи расчета малок по конструктивным элементам агрегатов.

Отдельное множество занимают задачи расчета обшивок и расшивок агрегатов как линейчатых, так и криволинейных поверхностей, с определением положения следов конструктивных элементов на них.

Пятая подгруппа задач объединяет расчеты по определению параметров узлов и деталей внутренней конструкции агрегатов и задачи по кинематике механизмов управления агрегатов. К ним относится расчет геометрии длинномерных деталей (раскосов, подкосов, тяг и т. д.), задачи на пересечение длинномерных деталей с поверхностями агрегатов; расчеты по кинематике массы, кинематике управления. Здесь решаются задачи по определению зазоров между агрегатами, подвижными и неподвижными элементами в кинематических схемах.

Среди этого вида особо следует выделить задачи, связанные с расчетами параметров направляющих рельсов.

Глава 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАЗОВЫХ РАБОТ

Графическое изображение форм, размеров и конструкции планера на этапе подготовки производства осуществляется в виде теоретических и конструктивных плазов.

Несмотря на повсеместное внедрение аналитических методов задания поверхностей самолета и расчет их геометрических параметров на ЭВМ, плазовая проработка изделий до сих пор ориентируется на малопроизводительный ручной труд. Трудоемкость плазовых работ для изделия среднего класса составляет от 75 до 100 тыс. нормо-ч, штат работников плазового отделения достигает ста человек и более. Низкая точность выполнения плазов не отвечает требованиям современного производства.

Плаз, во многих случаях оставаясь первоисточником увязки, постепенно утрачивает свое перво-

начальное значение носителя формы и размеров в связи с заменой ряда графических построений по заданию и определению геометрических параметров поверхностей расчетными работами на ЭВМ, а также в связи с изготовлением оснастки на станках с ЧПУ по аналитически заданным теоретическим чертежам.

Аналитически заданные линии теоретических контуров на плазах (теоретических и конструктивных) вычерчиваются сейчас на многих предприятиях вручную с низкой точностью по точкам, координаты которых рассчитаны на ЭВМ.

При переходе на автоматизированные процессы изготовления обводообразующей оснастки теоретические плазы, выполненные таким образом, не могут из-за низкой точности служить для контроля рабочих контуров шаблонов и другой обводообра-

зующей оснастки, обработанной на станках с ЧПУ. Поэтому необходимость в теоретических плазах сейчас снижается и со временем отпадет совсем. В этом случае контроль и увязка обводообразующей оснастки будут осуществляться независимым методом — автоматизированно, на контрольно-измерительных машинах с ПУ по расчетным данным, первоисточником которых должна служить математическая модель поверхности самолета. Но поскольку плаз остается в ряде случаев основным контрольным документом задача замены ручного труда автоматизированным с одновременным повышением точности и производительности плазовой проработки изделий является актуальной. Она может быть решена за счет автоматизированного вычерчивания плазов с использованием высокоточных координатографов с ПУ, оснащенных чертежно-разметочными устройствами, позволяющими качественно выполнять плазовые линии на разных носителях чертежа.

Плазы, как правило, вычерчиваются тушью на стандартных (ОСТ 1.5125—79) плазовых панелях, а также на специальных полиэтиленерефталатных пленках (бесцветных типа «пермотрейс» и двухслойных с цветным покрытием по прозрачной основе типа «озескрайбс» и «диамат»).

Использование координатографов с ПУ позволяет заменить трудоемкие графические построения, выполняемые вручную, автоматизированным вычерчиванием с повышением точности в 2—3 раза и производительности в 3—5 раз, что в итоге сокращает сроки плазовой проработки и значительно повышает качество графических построений. Особенно эффективно их использование при выполнении плазовых линий, выходящих на обводы изделия и им эквидистантных.

Координатографы с ПУ как отечественные, так и зарубежные используются рядом предприятий отрасли. Они предназначены, в первую очередь, для выполнения по программе следующих работ:

- нанесение координатных сеток и конструктивных осей агрегатов и узлов;
- вычерчивание линий теоретического контура и им эквидистантных на теоретических и конструктивных плазах;
- разметка (контура, осей, базовых отверстий и т. д.) заготовок шаблонов, например ШКК, ШК и других;
- разметка и вычерчивание на конструктивных плазах деталей и элементов конструкции.

Для эффективного использования координатографов в плазовых работах необходимо наличие программного и технологического обеспечений. Координатографы должны иметь следующие конструктивные особенности и эксплуатационные возможности:

1. Размер рабочего поля стола не менее стандартной плазовой панели (2200×1100 мм).
2. Вычерчивание в различных масштабах как тушью, так и специальными резцами, например алмазными, на бумаге, пленках, пластиках и металле.
3. Наличие электронно-цифровой индикации координат, устройств контроля вычерченных линий и считывания координат точек контура с плаза.

4. Управление от специализированного вычислителя со встроенным интерполятором или непосредственно от ЭВМ.

Минимальное программное обеспечение должно осуществлять следующие операции:

- нанесение координатных сеток с разным шагом;
- параллельный перенос и поворот системы координат;
- вычерчивание симметричных и зеркальных изображений;
- автоматический выбор квадранта изображения;
- нанесение разного рода линий (сплошных, прерывистых, штрихпунктирных и буквенно-цифровой информации);
- изменение скорости вычерчивания линий.

Институтом разработан рабочий проект крупногабаритного прецизионного координатографа с ПУ модели КПУ-4М со следующими техническими данными:

Размеры рабочей поверхности стола, мм	2200×3300
Максимальная скорость вычерчивания при цене импульса унитарного кода 0,01 мм, м/мин	5,0
Скорость установочных перемещений чертежной головки, м/мин	7,5
Точность вычерчивания линий на всей длине стола, мм	0,15
Управление	от мини-ЭВМ «Электроника-60И»
Масса, кгс	2000

Плазовые панели и пленки на столе фиксируются по базовым отверстиям Ø8Н7. Этим обеспечивается увязка координатной системы координатографа с системой плаз-кондуктора, используемого для разделки базовых отверстий в шаблонах и прочей обводообразующей оснастке.

Координатограф КПУ-4М, спроектированный с учетом требований автоматизации графических работ и обеспечивающий, благодаря комплексу чертежно-пишущих инструментов, вычерчивание линий на разных материалах, имеет широкие технологические возможности. Использование мини-ЭВМ в системе управления обеспечивает универсальный ввод программы, делает его работу оперативной и расширяет круг реализуемых задач.

Из зарубежных координатографов наиболее технически совершенными и удовлетворяющими вышеперечисленным требованиям являются координатографы фирмы «Аристо» (ФРГ), например модели «Аристомат 300» с диапазоном рабочего поля от 1,2×1,5 до 3,0×10,0 м. Они имеют комплектное технологическое и программное оснащение и могут успешно использоваться для автоматизации плазовых работ.

Сравнительные технические данные координатографов приведены в таблице.

Координатографы моделей «Аристомат 300» ФРГ, «Кингматик» (Норвегия) в настоящее время используются на ряде предприятий отрасли для автоматизации графических построений при плазовой проработке изделий.

Основные данные	Страна, модель			
	СССР, КПУ-4М	ФРГ, «Аристомат 300»	США, «Калкомп 7000»	Норвегия, «Кингматик 1830—1875»
Диапазон рабочего поля, м	2,2×3,3	От 1,2×1,5 до 3,0×10,0	1,5×2,5	От 1,8×3,0 до 1,8×7,5
Максимальная координатная скорость, м/мин	5,0	30,0	До 15,0	От 4,0 до 15,0
Достижимая точность отработки контуров, мм	0,1/1000 мм 0,15 на всей длине	0,1/1000 мм 0,15 на всей длине	0,1	0,075/1000 мм 0,25 на всей длине
Вид выполняемой работы: — черчение, — разметка и гравировка, — скрайбирование со слежением за положением резца	+ + —	+ + +	+ + +	+ + —
Инструмент	Шариковый стержень, рапидограф, алмазный резец	Шариковый стержень, рапидограф, сапфировый резец	Шариковый стержень, рапидограф, резец	
Вид интерполяции	Линейная, круговая	Линейная, круговая, параболическая		Линейная, круговая
Управление	Автономное от мини-ЭВМ «Электроника-100И»	Автономное от управляющей машины типа «Географ» и непосредственно от ЭВМ	Автономное от встроенного вычислителя и непосредственно от ЭВМ	Автономное от встроенного вычислителя

Глава 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБВОДООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ЭВТ И ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ

Комплексная автоматизация плазово-шаблонных работ возможна при системном использовании средств ЭВТ и оборудования с ЧПУ, основой которого должно стать мощное математическое обеспечение.

Предприятия отрасли имеют опыт разработки и внедрения специализированных методов и программ по автоматизации процессов расчета геометрической информации агрегатов планера, изготовления плазов и обработки контуров и поверхностей плоской и объемной обводообразующей оснастки для всех видов ЭВМ, получивших распространение в отрасли. Этот опыт подтверждает эффективность использования ЭВТ и оборудования с ЧПУ.

На сегодня разработаны типаж, технические задания и ведется проектирование специализированного технологического оборудования с ЧПУ, предназначенного для комплексного решения вопросов автоматизированного изготовления плазово-шаб-

лонной оснастки (плоской, малкованной и объемной как с линейчатыми, так и с криволинейными поверхностями). Это свидетельствует о том, что плазово-шаблонный метод претерпевает коренные изменения. Инженерная подготовка производства самолета в целом ряде вопросов вступила в период перехода к новой системе, основанной на аналитическом задании аэродинамических поверхностей, широком применении ЭВТ, станков и установок с ЧПУ при бесплазовом в перспективе методе изготовления и увязки рабочей оснастки. Необходимо отметить, что каждое предприятие разрабатывает алгоритмы, программы расчета геометрической информации и управления станками с ЧПУ применительно к своим нуждам и имеющимся в его распоряжении оборудованию и ЭВМ. Они имеют только локальное применение, так как разработаны к конкретным методам задания, применительно к специфике конкретного предприятия и рассчитаны на использование только определенной ЭВМ.

Следует отметить следующие характерные трудности и недостатки работ по автоматизации процессов расчета геометрической информации и изготовления плазово-шаблонной оснастки:

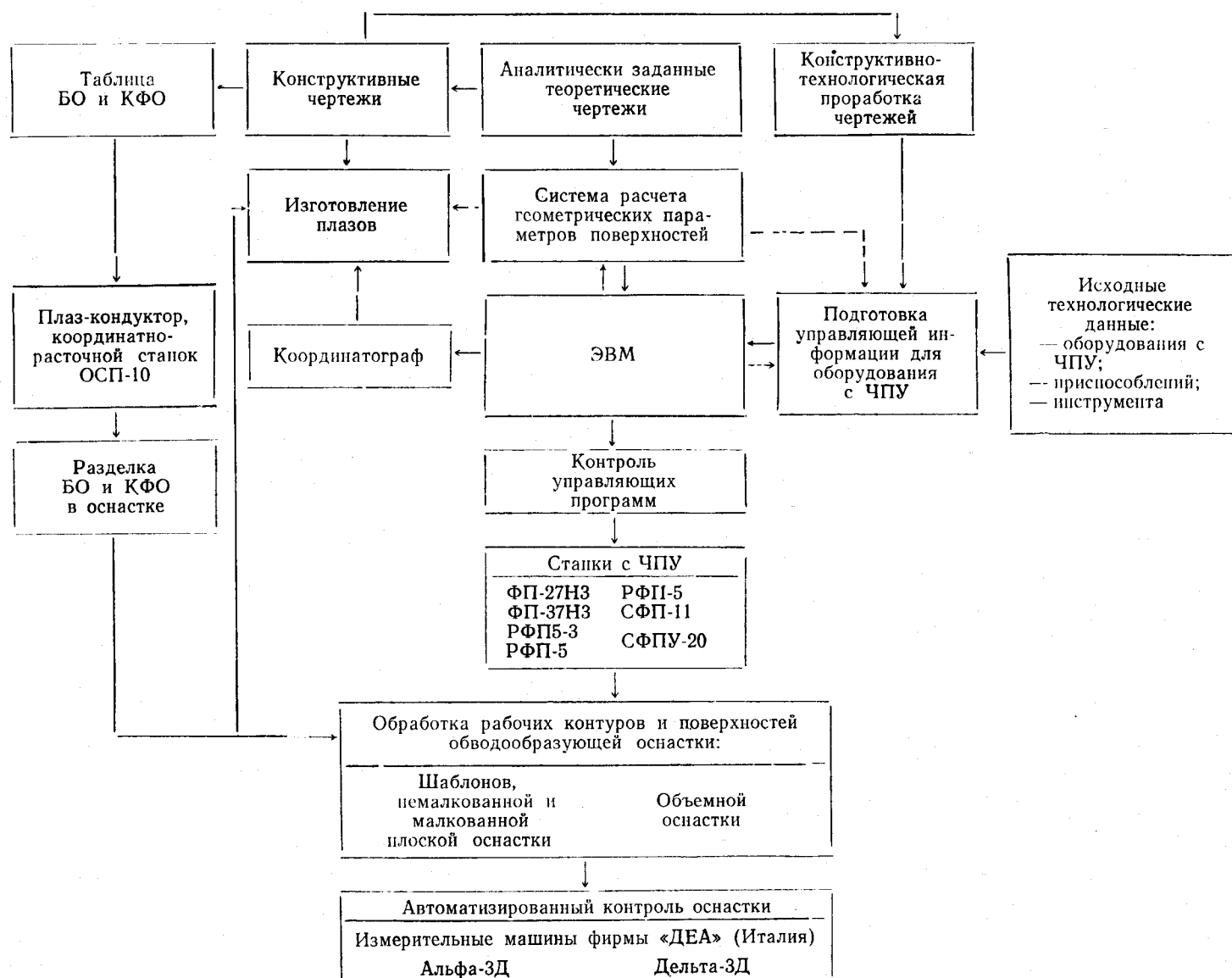
- многообразие способов аналитического описания, используемых для записи геометрической информации;
- использование разнотипной ЭВТ;
- использование различных подходов к организации и разработке математического и информационного обеспечения;
- большой объем ручной работы при подготовке входных данных и при обработке результатов расчета;
- отсутствие взаимоувязанного системного программного обеспечения, базирующегося на единой информационной системе;
- высокая трудоемкость работ по подготовке управляющей информации для оборудования с ЧПУ;

— отсутствие единого специализированного технологического оборудования с ЧПУ.

Перечисленные недостатки затрудняют кооперацию между предприятиями отрасли и тем самым увеличивают трудоемкость работ при передаче изделия из ОКБ на серийный завод, которому в процессе подготовки производства приходится перезадавать поверхность изделия применительно к принятому на нем способу и имеющейся ЭВТ и повторно разрабатывать программное обеспечение.

В последние годы на предприятиях отрасли быстро растет парк оборудования с ЧПУ. Однако до сего времени в цехах подготовки производства для автоматизированного изготовления шаблонов и обводообразующей оснастки из-за отсутствия специализированного оборудования применяются 3-координатные станки основного производства моделей ФП-7М, ФП-17М, ФП-9 и др. с использованием специальных фасонных фрез и фрез с изменяемой геометрией режущего профиля в процессе обра-

Автоматизированное изготовление плазов и обводообразующей оснастки по данным теоретического чертежа



ботки. Их использование не приносит ощутимого технико-экономического эффекта по следующим причинам:

— несоответствие рабочих зон указанных станков типоразмерам изготавливаемой оснастки;

— низкая точность обработки на данных станках;

— отсутствие 5-координатных станков с поворотными программируемыми фрезерными головками для обработки объемной оснастки;

— неприспособленность станков основного производства к особенностям обрабатываемой оснастки (отсутствие базовых отверстий в столах станков для фиксации оснастки; низкая частота вращения шпинделя, станки не имеют автоматического прижима заготовок шаблонов в зоне резания и т. п.).

Отсутствие специализированного оборудования с ЧПУ в цехах подготовки производства сдерживает автоматизацию наиболее трудоемких технологических процессов, таких, как вычерчивание плазов, изготовление шаблонов, обработка плоской малкованной и объемной обводообразующей оснастки, разделка базовых отверстий в оснастке.

Основные области использования оборудования с ЧПУ при автоматизированном изготовлении оснастки по данным теоретического чертежа видны из схемы.

Исходя из назревшей необходимости комплексного решения вопросов автоматизированного изго-

товления оснастки Институт разработал типаж оборудования с ЧПУ и технические задания на вновь создаваемое специализированное оборудование. Типаж включает оборудование, выполненное в проектах и намеченное к изготовлению в период до 1986 г. Номенклатура оборудования, представленная в типаже, будет уточняться и дополняться по мере изготовления и внедрения опытных образцов с учетом запросов промышленности в связи с освоением производства новых изделий авиационной техники. Типаж может служить руководящим материалом при разработке и совершенствовании технологических процессов, мероприятий по повышению технического уровня производства, а также при составлении перспективных заявок на приобретение оборудования.

В типаж включено как отечественное, так и импортное оборудование. На большинство моделей (ФП-27НЗ, ФП-37НЗ, РФП-5, КПУ-4М, СФПУ-20, ОСП-10) рабочие проекты разработаны и переданы на изготовление. Создание крупногабаритных станков моделей СФПУ-20 и ОСП-10 поручено Ленинградскому станкостроительному объединению им. Свердлова.

Перечень рекомендуемого оборудования с ЧПУ, их основные параметры и область использования представлены в табл. XX.4.1. Указанное оборудование начнет поступать на предприятия отрасли в 1983—1985 гг. Оно создаст реальные предпосылки к автоматизации процессов:

Таблица XX.4.1
Оборудование с ЧПУ для автоматизированного изготовления плазов и обводообразующей оснастки

Вид оборудования	Модель	Назначение и область применения	Число координат	Рабочая зона, мм	Пределы рабочих подач, мм/мин	Точность, мм
Координатографы	КПУ-4М Аристомат 8452-6 (ФРГ)	Вычерчивание плазов	2	3300×2200	5000	±0,1
			2	6000×3000	4000	±0,1
Станки фрезерные	ФП-27НЗ	Обработка рабочих контуров и поверхностей обводообразующей оснастки	3	2000×800×400	25—3800	±0,1
	ФП-37НЗ		3	3000×800×400	25—3800	±0,1
	РФП-5-3		3	5000×2000×450	25—4800	±0,07
	РФП-5		5	5000×2000×500	25—4800	±0,1
	СФПУ-20		5	20 000×3500×1500	20—2500	±0,15
Станок сверлильно-расточной	ОСП-10	Расточка базовых и других отверстий в оснастке	3	10 000×3500×1250	20—800	±0,20 на длине 4000 мм
Координатные измерительные машины (Италия)	Альфа-3-GJ	Контроль рабочих контуров и поверхностей оснастки, обработанной на оборудовании с ЧПУ	3	7000×2500×2000		X±0,15 Y±0,08 Z±0,07
	Альфа-3-GG		3	5000×2500×2000		X±0,15 Y±0,08 Z±0,07
	Дельта-3-AB		3	3000×1800×1000		X±0,06 Y±0,05 Z±0,04
	Дельта-3-B		3	5000×2400×2050		X±0,075 Y±0,06 Z±0,05
	Бета-3-E		3	2800×1600×1000		±0,02
	Бета-3-E-10		3	9970×1600×1000		±0,025

- вычерчивания плазов;
- разделки базовых отверстий в оснастке;
- обработки рабочих контуров шаблонов, плоской и объемной обводообразующей оснастки;
- контроля контуров и поверхностей обработанной оснастки.

Обязательным этапом процесса перехода на независимый метод изготовления оснастки является контроль ее обводообразующих элементов, изготовленных на оборудовании с ЧПУ, абсолютным методом.

Метод контроля должен обеспечивать автоматизированное сравнение размеров, формы и взаимного расположения обводообразующих элементов обработанной оснастки с параметрами, заданными теоретическим чертежом или полученными в результате описания теоретических контуров математическими методами.

Метод контроля должен позволять оперативно вносить коррективы в систему расчета и записи управляющей информации в целях повышения точности изготовления оснастки.

В настоящее время для контроля оснастки с большой эффективностью используются контрольно-измерительные машины с программным управлением фирмы «ДЕА» (Италия). Рекомендуемые модели измерительных машин и их основные параметры представлены в табл. XX.4.2.

Контрольно-измерительные машины фирмы «ДЕА» оснащаются системами программного управления, позволяющими автоматизировать процессы контроля. Контроль и управление ими осуществляются с помощью ЭВМ.

Машины оснащены комплектом контрольно-измерительных приспособлений и устройств, обеспечивающим возможность оперативного контроля максимального числа геометрических параметров за один установ детали.

Наличие в комплекте ЭВМ дает следующие преимущества:

- введение в память ЭВМ данных о диаметре шупа обеспечивает вычисление поправки для определения истинного размера контролируемой оснастки;

- введение в память ЭВМ исходных номинальных значений координат позволяет выдавать результаты в виде отклонений от номинальных значений;

- возможность определения поправки на взаимное расположение оси контролируемого изделия и оси измерительной машины;

- возможность введения в память ЭВМ допусков на различные размеры оснастки позволяет выявлять размеры, выходящие из поля допуска.

Контроль с помощью измерительных машин имеет следующие преимущества:

- возможность выполнения 90—95% всех измерений геометрических параметров оснастки;

- сокращение времени контроля не менее чем в два раза;

- резкое сокращение ошибок при контроле;

- возможность автоматической выдачи результатов измерения позволяет оперативно осуществлять коррекцию технологического процесса в целях повышения качества изготавливаемой оснастки;

Таблица XX.4.2

Операции, выполняемые на контрольно-измерительных машинах фирмы «ДЕА»

Операция	Модель машин		
	Alpha	Beta	Delta
Автоматическое измерение межосевых и межцентровых расстояний	—	+	—
Измерение сечений и проверка характерных линий трехразмерных изделий:			
— вручную	+	+	+
— полуавтоматически или с перфо-ленты	+	—	+
Центровка, сверление и разметка контуров:			
— вручную	+	+	+
— полуавтоматическое	+	—	+
Измерение сечений и характерных линий изделия с автоматической записью результатов контроля:			
— вручную	+	+	+
— полуавтоматически или с перфо-ленты	+	—	+
Измерение или контроль второй половины симметричной поверхности с перфо-ленты, на которую записаны данные по первой половине поверхности:			
— автоматически	+	—	+
— с использованием в качестве запоминающего устройства перфо-ленты	—	+	—
Непрерывный промер поверхностей с одновременной записью на перфо-ленту для последующего использования ее на фрезерных станках или чертежных машинах	+	—	+
Контроль изделий с записью на перфо-ленту:			
— вручную	+	+	+
— автоматически	+	—	+
Изменение масштаба и функционирования по наклонным осям	+	—	+

- отпадает необходимость изготовления сложной специальной оснастки и сокращается время на подготовительные операции;

- высокая точность измерения.

Внедрение всего комплекта оборудования с ЧПУ, представленного в табл. XX.4.1, позволит в цехах подготовки производства:

- заменить ручной и маломеханизированный труд автоматизированным изготовлением;

- повысить производительность труда при изготовлении плазово-шаблонной оснастки в несколько раз с одновременным повышением точности изготовления и увязки ее;

- сократить цикл изготовления оснастки на 10%.

Глава 5. ДИРЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛАЗОВ, ПЛОСКОЙ И ОБЪЕМНОЙ ОБВОДООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ

Разделы	Документация	Шифр
Общетехнологические вопросы изготовления оснастки	Эталонно-шаблонный метод взаимной увязки оснастки для изготовления самолетов	РТМ-686-
	Метод объемной увязки деталей планера и элементов систем оборудования легкого класса	РТМ-1139-
	Методы и средства бесплазовой увязки элементов заготовительной сборочной оснастки	РТМ-1318-
	Монтаж и увязка сборочной оснастки без применения жестких носителей форм и размеров	ТР-654—72
	Изготовление элементов заготовительной сборочной оснастки, связанных с теоретическими контурами изделий на оборудовании с ЧПУ	ТР-656-72
	Схемы типовых технологических процессов изготовления шаблонов и обводообразующей оснастки на оборудовании с ЧПУ и их точностной анализ	ТР-960—74
	Повышение точности увязки элементов обводообразующей оснастки	ТР-1342—76
Общетехнические вопросы плазово-шаблонных работ	Плазы конструктивные. Определение, назначение и общие требования. Допуски	ОСТ 1.51461—73 ОСТ 1.51462—73
	Панель плаза	ОСТ 1.51125—79
	Фиксатор панели плаза	ОСТ 1.51126—79
	Шаблоны плазовые	ОСТ 1.51451÷ ÷ОСТ 1.51455—73
	Формблоки для штамповки деталей резиной на гидропрессах	РТМ-677
	Эталоны поверхности и болванки	ОСТ 1.51995—75 ОСТ 1.51996—75
	Пуансоны обтяжные для формообразования деталей типа обшивок из листа	РТМ-684—70
	Пуансоны обтяжные для профилей	РТМ-685-
	Оснастка объемная из упрочненных неметаллических материалов. Типы и основные размеры	ОСТ 1.51456—73 ОСТ 1.51457—73
	Типовые конструкции оснастки, применяемой при эталонно-шаблонном методе взаимной увязки оснастки	Приложение к РТМ-686—70
Оборудование для плазово-шаблонных работ и его оснащение	Типаж. Координатографы и фрезерные станки с ЧПУ для вычерчивания плазов и обработки элементов оснастки, связанных с теоретическими контурами изделий	
	Координатографы. Типы и основные параметры	ОСТ 1.76140—78
	Плаз-кондуктор. Конструкция и размеры	ОСТ 1.51412—72
	Организационно-технологическая оснастка для плазово-шаблонных цехов. Типовые конструкции	РТМ-661—70
	Стол плазовый. Размеры и технические требования	ОСТ 1.51109—79
	Оснастка к плаз-кондукторам	ОСТ 1.51610÷ ÷ОСТ 1.51626—81
Организация плазово-шаблонных работ	Положение о работе расчетно-конструкторских бюро плазово-шаблонных цехов опытных и серийных предприятий отрасли	
	Положение о цехе плазово-шаблонной и неметаллической оснастки	Методические материалы. Вып. 5. Книга III. 1970
	Типовой проект технологической части плазово-шаблонного цеха	
Задание и расчет геометрических параметров самолета	Аналитическое задание продольных линий каркасов аэродинамических поверхностей специальными уравнениями	ПИ-159—70
	Базовые способы аналитического задания поверхностей летательных аппаратов	ПИ-213—72
	Задание, расчет и воспроизведение внешних форм летательных аппаратов	ПИ-120—66
	Автоматизированная система расчета геометрических параметров внешних форм агрегатов планера	

Разделы	Документация	Шифр
	<p>Линейчатые поверхности. Часть I</p> <p>Криволинейные поверхности. Часть II</p> <p>Способ задания контуров аэродинамически подобной функцией (по способу Р. Л. Бартини)</p> <p>Определение на ЭВМ «Мир-2» геометрических параметров линейчатых поверхностей</p> <p>Определение на ЭВМ «Мир-2» геометрических параметров плоских обводов</p> <p>Расчет геометрических параметров и механизмов кинематических цепей управления летательных аппаратов (программы для ЭВМ «Мир-2»)</p>	<p>ПИ-242—73</p> <p>ПИ-257—75</p> <p>ТР-1273—75</p> <p>ТР-1335—76</p> <p>ТР-1332—76</p> <p>ТР-1.4.067—76</p>
Подготовка управляющей информации для оборудования с ЧПУ	<p>Подготовка управляющей информации по программе «Эпюра» для расчерчивания эпюр совмещенных сечений на станках с ЧПУ</p> <p>Подготовка управляющей информации по программе «Шаблон» для обработки плоской оснастки концевыми цилиндрическими фрезами на станках с ЧПУ</p> <p>Подготовка управляющей информации по программе «Шаблон» внутреннего контура» для обработки плоской оснастки типа ШВК концевыми цилиндрическими фрезами на станках с ЧПУ</p> <p>Подготовка управляющей информации по программе «Малка» для обработки плоской малкованной оснастки фасонными фрезами с изменяемой конусностью на станках с ЧПУ</p> <p>Подготовка управляющей информации по комплексу программ «Линейчатая поверхность 3К» для обработки объемной оснастки на станках с ЧПУ</p> <p>Подготовка на ЭВМ «Мир-2» управляющей информации для обработки на станках с ЧПУ плоской малкованной оснастки</p> <p>Подготовка на ЭВМ «Мир-2» управляющей информации для расчерчивания и обработки на оборудовании с ЧПУ теоретических обводов агрегатов изделий</p> <p>Подготовка на УВК М-4030 программ обработки на станках с ЧПУ теоретических контуров шаблонов ШКК, ШКС, ШВК для агрегатов типа фюзеляжа</p> <p>Подготовка на УВК М-4030 программ обработки на станках с ЧПУ малкованной оснастки для агрегатов типа фюзеляжа</p> <p>Подготовка на УВК М-4030 программ обработки на станках с ЧПУ объемной оснастки для агрегатов типа фюзеляжа</p>	<p>РТМ-1.4.047—76</p> <p>РТМ-1.4.048—76</p> <p>РТМ-1.4.050—76</p> <p>РТМ-1.4.049—76</p> <p>РТМ-1.4.051—76</p> <p>ТР-1333—76</p> <p>ТР-1334—76</p> <p>ТР-1.4.074—76</p> <p>ТР-1.4.072—76</p> <p>ТР-1.4.073—76</p>
Вычерчивание плазов	<p>Перенос контуров при выполнении плазово-шаблонных работ</p> <p>Применение лавсановой пленки в плазово-шаблонных работах</p> <p>Плазы конструктивные. Типовой технологический процесс</p>	<p>ОСТ 1.41528—74</p> <p>РТМ-1112—70</p> <p>ОСТ 1.41470—73</p>
Изготовление шаблонов, плоской и малкованной оснастки	<p>Изготовление и применение шаблонов плазовых. Типовые технологические процессы</p> <p>Фрезерование шаблонов на станках с ЧПУ и система автоматического программирования обработки теоретических контуров с помощью ЭВМ</p>	<p>ОСТ 1.41658—76</p> <p>ОСТ 1.41659—76</p> <p>ОСТ 1.41660—76</p> <p>РТМ-1492—74</p>
Изготовление объемной оснастки	<p>Изготовление и разметка эталонов поверхности и болванок</p> <p>Изготовление рабочей и контрольной оснастки с применением слепков для деталей, штампуемых резиной</p> <p>Изготовление заготовительно-штамповочной оснастки из пластика ТЛК-Э</p> <p>Проектирование и изготовление заготовительно-штамповочной оснастки с применением пластмасс</p>	<p>РТМ-743—70</p> <p>РТМ-772</p> <p>РТМ-885</p> <p>РТМ-946</p>
Изготовление облегченной объемной оснастки	<p>Проектирование и изготовление объемной оснастки с применением неметаллических материалов</p> <p>Проектирование, изготовление и эксплуатация объемной оснастки трехслойной конструкции</p> <p>Оснастка объемная из упрочненных неметаллических материалов. Типовой технологический процесс</p> <p>Проектирование, изготовление и эксплуатация пустотелых конструкций объемных пуансонов с применением стеклопластиков</p>	<p>РТМ-1397—70</p> <p>ТР-387—70</p> <p>ОСТ 1.41463—73</p> <p>ОСТ 1.41464—73</p> <p>РТМ-1453—74</p>
Контроль плазов, плоской и объемной оснастки	<p>Контроль обводообразующих элементов заготовительно-штамповочной и стально-сборочной оснастки, изготавливаемых на оборудовании с ЧПУ</p>	<p>ТР-1.4.099—76</p>

Заключение

Плазово-шаблонные работы в настоящее время характеризуются снижением роли теоретических плазов как носителей формы и размеров и быстрым расширением сфер использования средств ЭВТ и оборудования с ЧПУ.

Постепенный переход к бесплазовому производству самолетов базируется на аналитических методах задания поверхностей, автоматизированных методах расчета их геометрических параметров, способах расчета и подготовки на ЭВМ управляющей информации для оборудования с ПУ и автоматизированных технологических процессах воспроизведения и контроля оснастки.

Расчеты геометрических параметров агрегатов планера повсеместно ведутся с широким использованием ЭВМ.

При изготовлении плазов и обводообразующей оснастки используется оборудование с ЧПУ, парк которого на предприятиях быстро растет. Основная трудность широкого внедрения обработки сложных контуров и поверхностей оснастки на станках с ЧПУ — высокая трудоемкость подготовки управляющей информации. Это объясняется большим объемом сложных вычислительных работ по геометрическим расчетам и низкой производительностью ручного программирования.

Реализация преимуществ оборудования с ЧПУ возможна лишь в случае оперативной подготовки управляющей информации с минимальными затратами времени, средств и ручного труда, что может быть достигнуто лишь при наличии систем автоматического программирования многокоординатной обработки сложных по форме аналитически заданных контуров и поверхностей деталей и оснастки.

Следует отметить, что системы автоматизированной подготовки управляющей и технологической информации для обработки обводообразующей оснастки, связанной с теоретическими контурами самолета, находятся пока в стадии начальных разработок. Автоматизация процессов обработки технологической оснастки является частичной. Почти вся обводообразующая оснастка изготавливается с широким использованием ручного труда высококвалифицированных специалистов цехов подготов-

ки производства, что обуславливает низкую точность, длительный цикл и значительную трудоемкость ее изготовления.

Эффективное решение задач автоматизированного изготовления обводообразующей оснастки должно включать в себя вопросы автоматизации всего комплекса обработки элементов обводообразующей оснастки — от теоретического чертежа до воспроизведения и контроля ее на оборудовании с ЧПУ.

Настоятельной необходимостью является унификация вида и характера передаваемой из ОКБ на завод технической документации на изделие.

В настоящее время, благодаря внедрению программно-совместимых ЭВМ III поколения и оборудования с ЧПУ в практику подготовки производства, появились условия для разработки унифицированного в масштабах отрасли матобеспечения для автоматизированных технологических процессов изготовления плазово-шаблонной и прочей обводообразующей оснастки.

Модульный принцип построения пакетов программ должен обеспечить преемственность создаваемого матобеспечения для ЭВМ более высокого уровня и возможность его функционального расширения. Это позволит комплексно решить вопросы автоматизации подготовки производства, начиная с процессов аналитического задания и расчета геометрических параметров агрегатов планера и кончая увязкой рабочей оснастки, необходимой для изготовления деталей аэродинамических поверхностей изделия.

В этом направлении ведутся большие работы. Рядом предприятий созданы и внедряются в практику автоматизированные системы геометрических расчетов и подготовки управляющих программ для обработки на станках с ЧПУ шаблонов и другой обработки оснастки. Созданы предпосылки для разработки методов решения стоящих задач на основе систем с различным уровнем автоматизации проектирования операционных технологических процессов и подготовки управляющей информации для изготовления плазов, плоской и объемной обводообразующей оснастки на оборудовании с ЧПУ.

Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для выбора оптимального варианта конструкции необходимо провести комплексную технико-экономическую оценку нового изделия. Эта оценка, базирующаяся на научно-обоснованных нормативах затрат на создание опытного образца изделия и его серийное производство, используется также для перспективного и текущего планирования авиационной промышленности. Особое значение имеет правильное определение затрат на серийное производство новых изделий, так как они оказывают решающее влияние на направление капиталовложений и развитие производства, на экономику промышленности.

Уровень затрат серийного производства непосредственно связан и во многом определяется такими показателями технологичности конструкции, как простота изготовления при техническом совершенстве изделия, преемственность, уровень стандартизации и др.

В свою очередь показатели затрат серийного производства (материалов, труда, денежных средств) при прочих равных условиях являются важнейшими показателями технологичности нового изделия. При определении уровня затрат в серийном производстве и комплексно-техничко-экономической оценке нового изделия используются следующие показатели:

материалоемкости: удельное соотношение видов материалов и видов заготовок в общей массе конструкции изделия, коэффициенты использования материалов, общая и удельная нормы расхода материалов;

трудоемкости: общая технологическая трудоемкость, ее соотношение по видам работ, удельная трудоемкость;

себестоимости: общая себестоимость изделия, соотношение собственных затрат и стоимости комплектующих изделий, удельная себестоимость;

оптовая цена нового изделия и рентабельность его производства.

Все эти показатели зависят от большого числа технических и организационных факторов. При прочих равных условиях на их величину влияют применяемые в конструкции изделия материалы и готовые комплектующие изделия, возможность применения рациональных заготовок и прогрессивных методов их обработки, а также возможность механизации и автоматизации технологических процессов, широкой кооперации производства.

Так, например, правильный выбор материалов, возможность применения прогрессивных видов заготовок с малыми припусками на обработку деталей способствуют снижению норм расхода материалов, общей трудоемкости и себестоимости изделия, а также уменьшению удельных затрат производства (на единицу массы, мощности или другие показатели изделия). Широкая кооперация в производстве изделия обеспечивает за счет снижения затрат на специализированных предприятиях снижение себестоимости и цены изделия.

Предварительное определение затрат серийного производства в процессе комплексной технико-экономической оценки новых изделий является основой для расчета их технико-экономической эффективности, установления необходимых материальных, трудовых и денежных ресурсов при планировании народного хозяйства.

Учитывая все возрастающую сложность и стоимость авиационной техники, длительные сроки и большие затраты на проектирование, изготовление и доводку опытных образцов, на подготовку серийного производства, комплексную технико-экономическую оценку новых изделий, следует проводить с последовательным уточнением ее на всех основных этапах их создания. Таких основных этапов можно выделить три:

1. Техническое предложение (аванпроект).
2. Разработка эскизного проекта.
3. Рабочее проектирование и изготовление опытных образцов.

Своевременная и правильная технико-экономическая оценка изделия на этих этапах обеспечит обоснованность выбора изделия для решения поставленной задачи, предотвратит излишнюю трату средств и времени на создание экономически нецелесообразного образца, будет способствовать наиболее рациональному распределению ресурсов.

Экономические расчеты, выполняемые на различных этапах создания нового изделия, проводятся с различной степенью укрупнения и точности, что обуславливается:

во-первых, различной полнотой и точностью необходимых для расчетов исходных данных по изделию, имеющихся на данном этапе его создания;

во-вторых, полнотой и степенью дифференциации нормативно-справочной базы по классу изделий, к которому относится вновь создаваемое изделие.

На первых двух этапах (техническое предложение и эскизное проектирование), как правило, проводится предварительное определение материалоемкости, трудоемкости и себестоимости опытного образца изделия, затрат на начало периода освоения серийного производства и затрат на условия развернутого серийного выпуска. В отдельных случаях на этих этапах разрабатываются также проекты временных (на первые 2—3 года серийного производства) и прейскурантных оптовых цен. На третьем этапе (рабочее проектирование и изготовление опытного образца изделия) определяются материалоемкость, трудоемкость и себестоимость изделий только для условий серийного производства и разрабатываются проекты оптовых цен (временной и прейскурантной).

Расчет величины затрат на производство авиационной техники может осуществляться различными методами. Основные из них — метод статистической экстраполяции по экономико-математическим моделям, построенным по ретроспективным данным, и сопоставительный метод с использованием экспертных оценок.

Сущность первого метода заключается в том, что закономерности формирования величины затрат в зависимости от летно-эксплуатационных и конструктивно-технологических характеристик изделий и условий их производства, выявленные по статистическим данным и оформленные экономико-математической моделью, экстраполируются на заданные характеристики и условия производства нового изделия. При прогнозировании величины затрат на перспективный период вводится ряд коэффициентов, учитывающих влияние предполагаемого изменения тех факторов, которые не вошли непосредственно в экономико-математическую модель.

Сущность второго метода состоит в том, что величина затрат на производство выбранного изделия-прототипа (аналога) корректируется одним или несколькими коэффициентами, определяющими по экспертной оценке степень конструктивно-технологического отличия нового изделия от изделия-прототипа и влияние этих отличий на величину затрат по новому изделию. Для определения отдельных видов затрат при этом учитываются сложившиеся их пропорции (соотношения) в структуре затрат по изделию-прототипу.

Применение первого метода требует систематической работы по корректировке экономико-математических моделей, пополнению и обновлению справочно-нормативной базы с тем, чтобы они постоянно соответствовали уровню развития авиационной техники и организационно-техническому уровню ее производства. Но и в этом случае при существенных отличиях нового изделия от изделий базовой совокупности, по данным которых построены экономико-математические модели, необходима корректировка расчета на основе экспертных оценок. Поэтому на практике при оценке новых изделий используются оба метода, и степень предпочтения зависит от состояния справочно-нормативной базы первого метода и новизны изделия. При определении отдельных видов затрат, например **материальных**, может применяться метод расчета по **нормативам**.

Применение метода статистической экстраполяции и выбор изделия-прототипа базируются на классификации и группировке изделий авиационной техники по отдельным признакам (параметрам). Основными признаками группировки изделий являются их назначение, тип и некоторые конструктивно-технологические и тактико-технические характеристики.

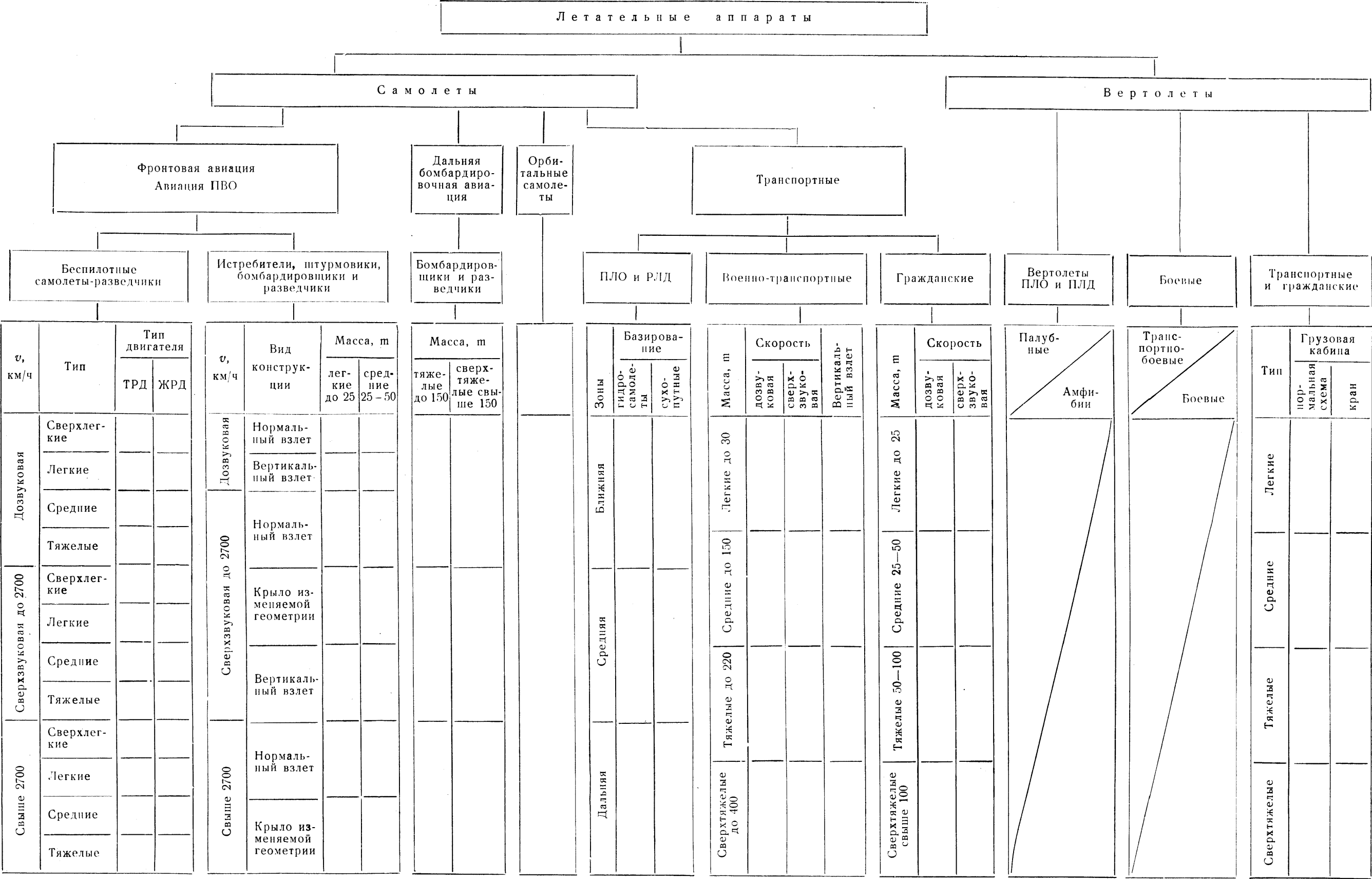
На схеме показана принципиальная группировка летательных аппаратов, применяемая при разработке нормативно-справочных материалов и комплексной технико-экономической оценке новых изделий.

Для проведения комплексной технико-экономической оценки нового изделия с использованием имеющихся методических и нормативно-справочных материалов необходимо располагать следующими данными:

1. Общая характеристика изделия (краткое описание, назначение, указание, какое изделие заменяет, какое изделие является прототипом, конструктивные особенности в сравнении с прототипом).
2. Конструктивно-технологическая и весовая характеристика, включающая габариты, массу изделия в различной комплектации и степени снаряжения, основные материалы, применяемые в конструкции (в % от общей чистой массы), структуру заготовок, основные виды соединений и т. п.
3. Отчетная калькуляция, трудоемкость и прочие данные по изделию-прототипу как по опытному, так и по серийному производству.
4. Коэффициенты, учитывающие конструктивно-технологическую сложность нового изделия по сравнению с прототипом.
5. Спецификация готовых комплектующих изделий (при отсутствии их в серийном производстве — характеристика опытных образцов с указанием изделия-аналога и коэффициента усложнения).
6. Данные по опытному производству, включая число опытных образцов, подлежащих изготовлению, число готовых комплектующих изделий, необходимых для испытания, среднечасовую заработную плату по категориям работников, проценты накладных расходов, а после изготовления опытного образца — полные фактические данные о затратах на его постройку.
7. Данные по серийному производству, в том числе предполагаемый завод-изготовитель, год начала серийного производства и программа выпуска изделий по годам.

Комплексная технико-экономическая оценка новых изделий осуществляется ОКБ-разработчиком, после решения вопроса о размещении производства — основным предприятием-изготовителем при методической помощи отраслевых лабораторий технико-экономических исследований, НИИЭкономики и НИИАТ. Необходимые дополнительные и исходные материалы для проведения расчетов ОКБ и серийное предприятие получают через соответствующее Главное управление Министерства. НИИЭкономики дает заключение по расчетам ОКБ или завода-изготовителя относительно затрат на серийное производство.

Схема группировки летательных аппаратов



Для получения заключения ОКБ и серийный завод-изготовитель вместе со своими расчетами представляют НИИЭкономики:

1. Общую характеристику изделия (описание).
2. Тактико-техническую и конструктивно-технологическую характеристику по форме 1.
3. Коэффициент конструктивно-технологической сложности нового изделия по сравнению с прототипом (аналогом), рассчитанный по видам работ и в целом на изделие по форме 2.

4. Укрупненную спецификацию материалов и заготовок по формам 3 и 3а.

5. Укрупненную спецификацию готовых комплектующих изделий по форме 4.

6. Сведения о предполагаемых заводе-изготовителе нового изделия, времени запуска изделия в серийное производство и количественном запуске изделий по годам.

Форма 1

Тактико-техническая и конструктивно-технологическая характеристика самолета _____

Классификационная группа _____

Назначение _____

Конструкция _____

Организация разработчик _____

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Новая кон- струкция самолета	Самолет — прототип
1	2	3	4	5
1	Габаритные размеры длина максимальный диаметр фюзеляжа	м		
2	Масса взлетная пустого изделия (без топлива, боекомплекта, экипажа, груза) планера (без двигателей и комплектующих изделий) металлоконструкции полезной нагрузки	кг		
3	Двигатели: тип число масса (одного) тяга (мощность) максимальная	шт. кг кг (л. с.)		
4	Скорость полета максимальная	км/ч		
5	Дальность полета (без подвесных баков)	км		
6	Практический потолок	м		
7	Соотношение основных видов материалов, применяемых в конструкции: сталь конструкционная сталь нержавеющая и жаропрочная титановые сплавы алюминиевые и магниевые сплавы стеклопластики прочие	%		
8	Соотношение площадей обтекаемой поверхности, занятых: монолитными панелями и конструкциями клепаными сварными клеесварными сотовыми стеклопластиковыми	%		

Подпись ответственного руководителя _____

Форма 2

Коэффициент конструктивно-технологической сложности самолета _____
по сравнению с самолетом _____

№ п/п	Виды работ	Удельные соотношения в общей трудоемкости изделия-аналога t , %	Коэффициент сложности для нового самолета K	Удельные соотношения в общей трудоемкости с учетом коэффициента сложности (гр. 3×гр. 4) $t \times K$
1	2	3	4	5
1	Заготовительно-штамповочные			
2	Литейные			
3	Кузнечные			
4	Механические			
5	Термические			
6	Агрегатно-сборочные			
7	Монтажные			
8	Окончательная сборка			
9	Испытания			
10	Прочие работы			
	Итого:	100	—	ΣtK
	Общий коэффициент сложности $K_c = \frac{\Sigma tK}{100}$			

Примечание. При невозможности установления коэффициентов сложности по видам работ указываются коэффициенты сложности по конструктивным группам.

Подпись ответственного руководителя _____

Форма 3

Укрупненная спецификация металлов самолета _____

№ п/п	Виды металлов и заготовок	Чистая масса	Основные применяемые марки мате- риалов	Примечание
1	2	3	4	5
	<i>I. Черные металлы</i>			
	Конструкционные стали			
1	Литье собственного производства			
2	Штамповки собственного производства			
3	Штамповки по кооперации			
4	Прутки на механообработку			
5	Тонколистовой прокат			
6	Толстолистовой прокат			
7	Профили			
8	Трубы тонкостенные			
9	Трубы катаные			
10	Трубы тянутые			
11	Прочие			
	Нержавеющие и жаропрочные стали			
1	Литье собственного производства			
2	Штамповки собственного производства			
3	Штамповки по кооперации			

№ п/п	Виды металлов и заготовок	Чистая масса	Основные применяемые марки мате- риалов	Примечание
1	2	3	4	5
4	Пруток на механообработку			
5	Тонколистовой прокат			
6	Толстолистовой прокат			
7	Профили			
8	Трубы тонкостенные			
9	Трубы катаные			
10	Трубы тянутые			
11	Прочие			
<i>II. Алюминиевые сплавы</i>				
1	Литье собственного производства			
2	Литье по кооперации			
3	Штамповки собственного производства			
4	Штамповки по кооперации			
5	Пруток на механообработку			
6	Листовой прокат			
7	Плиты			
8	Профили			
9	Панели			
10	Трубы			
11	Прочие			
<i>III. Титановые сплавы</i>				
1	Литье собственного производства			
2	Литье по кооперации			
3	Штамповки собственного производства			
4	Штамповки по кооперации			
5	Пруток на механообработку			
6	Листовой прокат			
7	Профили			
8	Трубы			
9	Прочие			
<i>IV. Магниеые сплавы</i>				
1	Литье собственного производства			
2	Литье по кооперации			
3	Штамповки собственного производства			
4	Штамповки по кооперации			
5	Пруток на механообработку			
6	Листовой прокат			
7	Плиты			
8	Профили			
9	Прочие			
<i>V. Медь и ее сплавы</i>				
1	Литье			
2	Прокат			
Итого				

Укрупненная спецификация неметаллических материалов и кабельной продукции самолета

№ п/п	Наименование материалов с указанием основной марки	Единицы измерения	Норма расхода
1	Оргстекло		
2	Стеклопластики		
3	Фторопласты		
4	Рукава резиновые		
5	Ткани		
6	Смолы связующие		
7	Герметики		
8	Лаки, эмали, грунты, шпатлевки		
9	Кабели медные		
10	Провода износостойкие		
11	Провода экранированные		
12	Провода теплостойкие		
13	Провода монтажные теплостойкие		
14	Горючесмазочные материалы		
15	Прочие неметаллы		

Подпись ответственного руководителя _____

Укрупненная спецификация готовых комплектующих изделий самолета *

№ п/п	Наименование оборудования	Шифр, индекс, тип	Число на самолет	Изделие прототип (серийное)	Коэффициент усложнения (удорожания)	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1	Силовая установка, в том числе: а) двигатели и т. д.					
2	Электрооборудование					
3	Пилотажно-навигационное, в том числе: а) и т. д.					
4	Радиооборудование, в том числе: а) и т. д.					
5	Противообледенительное					
6	Противопожарное					
7	Гидропневмосистема					
8	Управление самолетом в том числе: а) и т. д.					
9	Высотное					
10	Пассажирское					
11	Десантное					
12	Специальное, в том числе: а) и т. д.					
13	Вооружение, в том числе: а) и т. д.					
14	Средства спасения					
15	Прочее оборудование					

* По пп. 1, 3, 4, 8, 12, 13 и 14 указывается укрупненный перечень дорогостоящих готовых изделий. Если изделие опытное, указываются серийный аналог и коэффициент усложнения (удорожания). По остальным пунктам в графах 5 и 6 указывается серийный самолет с аналогичными системами и коэффициентом усложнения (удорожания).

Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ НОВЫХ САМОЛЕТОВ И СТОИМОСТИ МАТЕРИАЛОВ, РАСХОДУЕМЫХ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Определение потребности в материалах в натуральном выражении и их стоимости для производства изделий авиационной техники имеет важное значение по двум обстоятельствам. Во-первых, авиационная промышленность потребляет большое количество дорогостоящих и дефицитных материалов, что требует возможно более точного определения их фактической потребности и распределения в интересах всего народного хозяйства. Во-вторых, затраты на материалы составляют довольно существенную часть общих затрат на производство авиационной техники и снижение их расхода является одним из главных направлений снижения себестоимости изделий. Удельный вес затрат только на основные материалы в общей сумме собственных затрат предприятий авиационной промышленности составляет 17—25% и по мере технического прогресса и роста производительности труда неуклонно повышается.

Поскольку в изделиях авиационной техники основным конструкционным материалом в настоящее время является металл, основное внимание в предлагаемой методике сосредоточено на расчете металлоемкости изделий.

Общая металлоемкость изделия определяется нормой расхода металла — его количеством, необходимым для изготовления единицы изделия в соответствии с заданными техническими условиями.

Норма расхода металла зависит от

— удельного соотношения потребляемых материалов и применяемых видов заготовок в общей металлоемкости изделия;

— величины коэффициента использования металла по каждому виду применяемых материалов и заготовок.

Удельное соотношение различных материалов в общей металлоемкости изделия характеризует прогрессивность конструкции, ее экономичность, с точки зрения применения дефицитных и дорогостоящих материалов, и является одним из показателей технологичности изделия, определяющая возможность применения прогрессивных видов заготовок, и трудоемкости обработки деталей.

Удельное соотношение видов заготовок в общей металлоемкости изделия характеризует не только прогрессивность и технологичность его конструкций, но и технический уровень производства.

Одним из важнейших показателей технологичности конструкции изделия и технического уровня производства является коэффициент использования металла — отношение чистой массы изделия, узла, детали к массе металла, необходимого для их изготовления, по норме или фактически затраченного в производстве. Коэффициенты использования металла как в целом по изделию, так и по отдельным видам применяемых материалов и заготовок зависят от технологичности конструкции (возможности применения прогрессивных заготовок с малыми припусками на окончательную обработку деталей), от технического уровня производства (наличия необходимого технологического оборудования), а также от возможностей металлургической

промышленности по поставке рационального профиля и типоразмера проката.

Указанные показатели не являются стабильными, а изменяются по мере освоения изделия в серийном производстве.

Предварительный расчет металлоемкости нового изделия для условий серийного производства осуществляется на основе данных о чистой массе конструкции изделия, удельном соотношении различных видов материалов и заготовок, предполагаемых к внедрению при изготовлении этого изделия, и данных о коэффициентах использования металлов в серийном производстве изделий соответствующей группы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСТОЙ МАССЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПО ВИДАМ ЗАГOTOVK И МЕТАЛЛОВ

Установление чистой массы металлоконструкции по основным видам применяемых металлов и заготовок для условий освоенного серийного производства имеет некоторые особенности, обусловленные различной полнотой и точностью исходных данных на этапах предпроектного исследования, разработки эскизного проекта и этапе рабочего проектирования и изготовления опытных образцов.

На этапах технического предложения и разработки эскизного проекта чистая масса по основным видам металлов и заготовок определяется на основе удельного соотношения металлов и заготовок, сложившегося в изделии-прототипе, либо установленного по справочно-нормативным материалам, разработанным НИИТ для соответствующей группы изделий. Экспертной оценкой специалистов эти данные корректируются применительно к конструктивно-технологическим особенностям нового изделия.

Исходя из чистой массы металлоконструкции изделия в целом и установленных удельных соотношений видов металлов и заготовок, рассчитывается чистая масса металла по каждому виду заготовок (по видам металлов в целом по изделию)

$$G_{ij} = G_{\text{изд}} K_{\text{к}} Y_{ij}, \quad (1)$$

где G_{ij} — чистая масса i -го вида заготовки j -го вида металла (с учетом одиночного комплекта);

$G_{\text{изд}}$ — чистая масса металлоконструкции изделия (без учета одиночного и группового комплектов);

$K_{\text{к}}$ — коэффициент увеличения чистой массы изделия для учета одиночного комплекта;

Y_{ij} — удельный вес i -го вида заготовки j -го вида металла в чистой массе изделия.

На этапе рабочего проектирования чистая масса металлоконструкции по видам металлов и заготовок определяется прямым суммированием чистых масс деталей, запланированных к изготовлению в серийном производстве из однотипных видов металлов и заготовок.

Коэффициент K_K устанавливается усредненно по группам изделий на основе анализа статистических данных. В среднем для самолетов $K_K = 1,1$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ РАСХОДА МЕТАЛЛА НА ИЗДЕЛИЕ

Норма расхода металла по отдельным видам металлов и заготовок определяется по формуле

$$H_{ij} = \frac{G_{ij}}{\text{КИМ}_{ij}}, \quad (2)$$

где H_{ij} — норма расхода металлов по i -му виду заготовки j -го вида металла;

КИМ_{ij} — нормативный коэффициент использования металла по i -му виду заготовки j -го вида металла для условий серийного производства соответствующей группы изделий. Разрабатывается НИАТом на определенный период и при необходимости может быть скорректирован экспертной оценкой специалистов применительно к конструктивно-технологическим особенностям нового изделия.

При расчете металлоемкости производства изделия на порядковый год с начала серийного производства или календарный год, отличные от тех, для которых рассчитаны справочно-нормативные показатели НИАТ, а также при расчете металлоемкости изделий на перспективный период, полученные нормы расхода металлов должны быть скорректированы на заданные условия путем введения двух коэффициентов:

K_i — коэффициента корректировки нормы расхода видов металлов на заданный порядковый год серийного производства;

K_T — коэффициента корректировки нормы на заданный календарный год производства.

Методика расчета корректирующих коэффициентов K_i и K_T разработана НИАТ.

Таким образом, формула расчета нормы расхода металла на заданные условия производства имеет вид

$$H_{ij} = \frac{G_{изд} K_K Y_{ij}}{\text{КИМ}_{ij} \cdot 100} K_i K_T. \quad (3)$$

Для расчета норм расхода металлов по основным видам металлов и заготовок рекомендуется форма 5. Общая норма расхода металла на изготовление изделия определяется как сумма частных норм по каждому виду металлов и заготовок (итог графы 5 формы 5), а общий коэффициент использования металла по изделию — как частное от деления чистой массы металлоконструкции на эту норму.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ МЕТАЛЛОВ НА ИЗДЕЛИЕ

Стоимость металлов на освоенное серийное производство нового изделия рассчитывается по позициям укрупненной номенклатуры видов металлов и заготовок как произведение средних цен на нор-

му расхода металлов и затем суммируется в целом на изделие.

Средние цены по укрупненной номенклатуре видов металлов и заготовок разработаны НИАТ.

Для учета стоимости прочих видов металлов, применяемых в изделии и не охваченных номенклатурой формы 5 (например, тяжелый цветной прокат и т. п.), итоговая сумма графы 7 формы 5 может быть увеличена на 1–2%.

Из стоимости металлов, рассчитанной изложенным выше методом, вычитается стоимость реализуемых отходов, которая составляет в среднем 5% от стоимости металлов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ СТОИМОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗДЕЛИЕ

В общем виде стоимость материалов, затрачиваемых на серийное производство изделия, определяется формулой

$$C_M = \left(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \bar{C}_{ij} H_{ij} \right) (1 - K_p + K_{nm}) (1 + K_{tr}), \quad (4)$$

где C_M — общая стоимость материалов на изделие, руб.;

\bar{C}_{ij} — средняя стоимость 1 кг по i -му виду заготовки j -го вида металла, руб.;

K_p — коэффициент, выражающий отношение стоимости реализуемых отходов к стоимости металла;

K_{nm} — коэффициент, выражающий отношение стоимости неметаллических материалов и кабельной продукции к стоимости металла;

K_{tr} — коэффициент, выражающий отношение стоимости транспортно-заготовительных расходов к стоимости материалов;

n — число видов заготовок;

m — число видов металлов.

Коэффициент, учитывающий стоимость неметаллов и кабельной продукции, определяется по справочно-нормативным материалам НИАТ с корректировкой в зависимости от средней стоимости 1 кг металлов нового изделия

$$K_{nm} = K'_{nm} \frac{\bar{C}'}{\bar{C}}, \quad (5)$$

где K'_{nm} — коэффициент, выражающий отношение стоимости неметаллических материалов и кабельной продукции к стоимости металлов, принятый по справочно-нормативным материалам НИАТ;

\bar{C}' — средняя стоимость 1 кг металлов, принятая при разработке справочно-нормативного коэффициента K'_{nm} , условно равная 1 руб. ($\bar{C}' = 1$ руб.);

\bar{C} — средняя стоимость 1 кг металлов по новому изделию.

Процент транспортно-заготовительных расходов определяется как усредненный на основе сложившихся связей по кооперированным поставкам по предприятию, где планируется серийное производство изделия. В случае, если вопрос о размещении серийного производства изделия еще не решен,

можно принимать сумму транспортно-заготовительных расходов в размере 8% от стоимости материалов.

Для расчета общей стоимости материалов на ранних стадиях проектирования изделий можно использовать также разработанную НИАТ методику с применением номограмм. Она позволяет более ускоренно проводить расчеты и не требует наличия исходной информации о соотношении применяемых видов заготовок, получение которой вызывает большие трудности при отсутствии рабочих чертежей.

Для расчета стоимости материалов с использованием номограмм необходимы следующие исходные данные:

- масса металлоконструкции изделия;
- удельное соотношение в металлоконструкции изделия конструкционных сталей, нержавеющей и жаропрочных сталей, титановых сплавов, алюминиевых сплавов и прочих цветных металлов (в %);
- предполагаемый (планируемый) в прогнозируемом периоде коэффициент использования металлов по изделию в целом.

Предполагаемый в прогнозируемом периоде коэффициент использования металлов по изделию устанавливается на основе справочно-нормативных данных, разработанных НИАТ для условий освоения серийного производства по наиболее близкой группе изделий. При необходимости установленный коэффициент использования металлов корректируется экспертной оценкой специалистов применительно к конструктивно-технологическим особенностям нового изделия, а также корректируется на задан-

ные условия производства в прогнозируемом периоде (путем деления на коэффициенты K_i и K_T).

Исходя из удельного соотношения различных видов металлов в массе металлоконструкции изделия и коэффициента использования металлов по изделию в целом, по номограмме для соответствующей группы изделий определяется общая стоимость материалов (металлов, неметаллов и кабельной продукции с учетом транспортно-заготовительных расходов за вычетом стоимости реализуемых отходов), приходящаяся на 1 кг массы металлоконструкции.

Стоимость материалов на изделие в целом определяется как произведение полученной стоимости материалов, приходящейся на 1 кг массы металлоконструкции изделия, на массу металлоконструкции:

$$C_m = C'_m G_{\text{изд}}, \quad (6)$$

где C'_m — стоимость материалов, приходящаяся на 1 кг массы металлоконструкции изделия.

В номенклатуру видов материалов, учитываемых при расчете стоимости материалов на серийное производство новых изделий изложенными методами, не входят композиционные материалы.

В случае применения в конструкции изделий композиционных материалов их стоимость должна определяться отдельно (на основе экспериментальных данных о норме расхода и цене 1 кг композиционных материалов) и прибавляться к общей стоимости материалов, рассчитанной одним из приведенных выше методов.

Форма 5

№ п/п	Виды заготовок и материалов	Чистая масса, кг	Нормативный коэффициент (КИМ)	Норма расхода, кг	Средняя цена за 1 кг, руб.	Стоимость металла, тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7
1. Черные металлы						
Конструкционные стали						
1	Литье собственного производства					
2	Штамповки собственного производства					
3	Штамповки по кооперации					
4	Прутки на механообработку					
5	Тонколистовой прокат					
6	Толстолистовой прокат					
7	Профили					
8	Трубы тонкостенные					
9	Трубы катаные					
10	Трубы тянутые					
11	Прочие					
Нержавеющие и жаропрочные стали						
1	Литье собственного производства					
2	Штамповки собственного производства					
3	Штамповки по кооперации					
4	Прутки на механообработку					
5	Тонколистовой прокат					
6	Толстолистовой прокат					

№ п/п	Виды заготовок и материалов	Чистая масса, кг	Норматив- ный ко- эффициент (КИМ)	Норма расхода, кг	Средняя цена за 1 кг, руб.	Стоимость металла, тыс. руб.
1	2	3	4	5	6	7
7	Профили					
8	Трубы тонкостенные					
9	Трубы катаные					
10	Трубы тянутые					
11	Прочие					
	<i>II. Алюминиевые сплавы</i>					
1	Литье собственного производства					
2	Литье по кооперации					
3	Штамповки собственного производства					
4	Штамповки по кооперации					
5	Пруток на механообработку					
6	Листовой прокат					
7	Плиты					
8	Профили					
9	Панели					
10	Трубы					
11	Прочие					
	<i>III. Титановые сплавы</i>					
1	Литье собственного производства					
2	Литье по кооперации					
3	Штамповки собственного производства					
4	Штамповки по кооперации					
5	Пруток на механообработку					
6	Листовой прокат					
7	Профили					
8	Трубы					
9	Прочие					
	<i>IV. Магниеые сплавы</i>					
1	Литье собственного производства					
2	Литье по кооперации					
3	Штамповки собственного производства					
4	Штамповки по кооперации					
5	Пруток на механообработку					
6	Листовой прокат					
7	Плиты					
8	Профили					
9	Прочие					
	<i>V. Медь и ее сплавы</i>					
1	Литье					
2	Прокат					
	Итого					

Глава 3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ САМОЛЕТОВ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Одним из важнейших показателей, характеризующих технологичность конструкции и во многом определяющих себестоимость производства и цену самолета, является технологическая трудоемкость — затраты труда основных производственных рабочих по изготовлению единицы изделия.

Наиболее правильным методом определения трудоемкости любого изделия является нормирование каждой отдельной операции и суммирование норм по всему технологическому процессу. Однако наиболее часто в практике возникает необходимость определения трудоемкости тогда, когда нет еще полного комплекта чертежей и тем более детально разработанного технологического процесса, а имеются в наличии лишь общие сведения, характеризующие то или иное изделие. Для этой цели необходимы методы укрупненного расчета трудоемкости. Предлагаемая методика определения трудоемкости базируется на таких факторах, как масса пустого самолета, число условно-изготовленных изделий и период с начала производства, удельные соотношения применяемых в конструкции материалов и соотношение видов соединений агрегатной и общей сборки.

Методика предназначена для определения трудоемкости изготовления самолетов оригинальной конструкции, но может быть использована для расчета трудоемкости и модифицированных изделий.

Говоря о предварительном определении трудоемкости изготовления изделий, необходимо различать нормированную трудоемкость (исчисляется в нормо-ч) и фактическую (исчисляется в чел.-ч). По данной методике определяется фактическая трудоемкость, так как она более правильно характеризует уровень необходимых трудовых затрат и их динамику по мере освоения и развертывания производства. Прогнозирование затрат труда по фактической трудоемкости устраняет влияние на трудоемкость различий в качестве нормирования, уровня выполнения норм на предприятии и дает возможность сопоставлять затраты труда аналогичных изделий, изготавливаемых различными заводами. При необходимости трудоемкость в нормо-часах определяется умножением фактической трудоемкости на коэффициент выполнения норм.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ САМОЛЕТОВ ОРИГИНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

При определении трудоемкости самолетов оригинальной конструкции учитываются следующие наиболее существенные факторы:

1. Группа или подгруппа самолетов.
2. Масса пустого самолета, то есть без горючего, экипажа, багажа и груза.
3. Максимальная скорость.
4. Количество условно-изготовленных самолетов (это объем работы, произведенной во всех цехах завода по данному изделию, суммарная трудоемкость которого равна трудоемкости единицы изделия).

5. Удельные соотношения видов материалов, применяемых в конструкции самолета.

6. Удельные соотношения видов соединений в обтекаемой поверхности самолета.

Факторы 2, 3 и 4 являются составными элементами формул, которые выведены применительно к конкретным группам и подгруппам самолетов; факторы 5 и 6 вводятся в виде поправочных коэффициентов.

Экономико-математическая модель, выражающая зависимость трудоемкости от основных факторов, в общем виде может быть представлена формулами:

а) для самолетов фронтовой авиации и авиации ПВО

$$T = AG^{\lambda_1} V^{\lambda_2} N^{-\lambda_3} (m + aK_m + bK_T) K_p; \quad (7)$$

б) для самолетов дальней бомбардировочной авиации и авиации ПЛО; для самолетов военно-транспортной и гражданской авиации

$$T = AG^{\lambda_1} N^{-\lambda_3} (m + aK_m + bK_T) K_p, \quad (8)$$

где

T — искомая трудоемкость, тыс. чел.-ч;

G — масса пустого самолета, кг;

N — количество условно-изготовленных изделий с начала производства, шт.;

V — максимальная скорость, км/ч;

$A; x; y; z$ — параметры уравнений, определяемые расчетами на ЭВМ по группам самолетов;

m — некорректируемая часть трудоемкости;

a — доля машинного времени заготовительно-штамповочных, механических и основного времени слесарно-опиловочных работ в общей трудоемкости изготовления самолета;

b — доля трудоемкости изготовления обшивки в общей трудоемкости изготовления самолета;

K_m — поправочный коэффициент, учитывающий влияние на трудоемкость изменения в соотношении применяемых в конструкции материалов по сравнению с изделиями базовой совокупности;

K_T — поправочный коэффициент, учитывающий влияние на трудоемкость изменения в соотношении видов соединений, применяемых в обшивке самолета;

K_p — коэффициент, учитывающий производительность труда.

Для определения поправочного коэффициента K_m используются соотношения трудоемкости, полученные в результате исследования обрабатываемости различных видов материалов.

Наиболее часто встречаемые в конструкции самолетов материалы и соотношения трудоемкости их обработки приведены в табл. 1.

Таблица XXI.5.1

Материалы	Соотношения трудоемкости, полученные на основании исследования обрабатываемости материалов, $K_{об}$
Конструкционные углеродистые стали	1,0
Нержавеющие стали	2,0
Жаропрочные и жаростойкие стали	5,0
Титановые сплавы	4,0
Алюминиевые, магниевые и медные сплавы	0,3
Бронза	0,5
Стеклопластики	1,15

соединений, можно установить величины указанных коэффициентов. Вид номограмм представлен на рис. 1 и 2.

Коэффициент K_M рассчитывается по следующей формуле:

$$K_M = \frac{\sum_1^n K_{об.н} m_n}{\sum_1^n K_{об.баз} m_{н.баз}}, \quad (9)$$

где $K_{об.н}$ — соотношения трудоемкости, полученные на основе исследования обрабатываемости различных марок материалов для вида материала по новому изделию;

$K_{об.баз}$ — то же по изделию или группе изделий базовой совокупности;

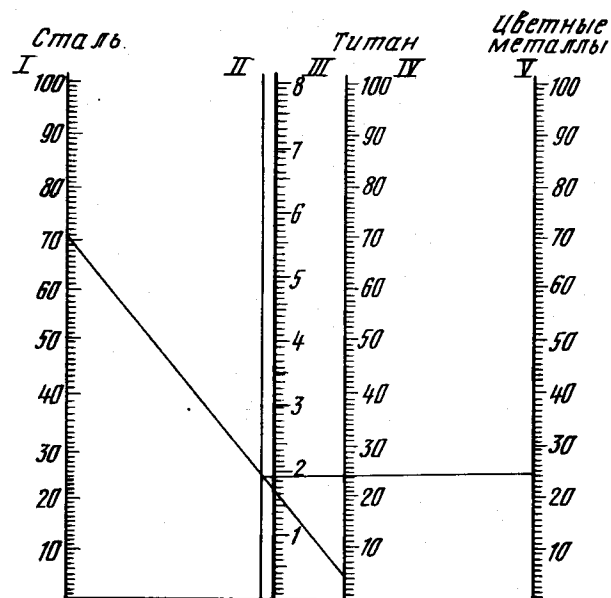
$m_n, m_{баз}$ — удельное содержание конкретного вида материала в чистой массе металлоконструкции (соответственно нового и базового самолетов).

Коэффициент K_T рассчитывается аналогично коэффициенту K_M . За базу берутся коэффициенты сложности конкретных видов соединений по отношению к трудоемкости клепки на прессах, принятой за 1. Рассчитываются эти коэффициенты сложности путем сравнения нормированной трудоемкости изготовления 1 м² обтекаемой поверхности самолета (обшивки) для различных видов соединений (табл. XXI.1.5.2).

Таблица XXI.5.2

Показатели	Вид соединения						
	клепка на прессах	клепка вручную	сварка	клеесварка	панели монолитные	стеклопластики	панели сотовые напоями-телем
Время на 1 м ² , мин	64	120	81	85	52	80	72
Коэффициент сложности	1,0	2,0	1,51	1,59	0,82	1,5	1,25

Для упрощения расчетов коэффициентов K_M и K_T строятся номограммы, с помощью которых, зная удельные соотношения материалов, применяемых в новом самолете, и соотношения основных видов



Ключ к номограмме: I-IV-II-V-III

Рис. 1. Номограмма определения коэффициента K_M (для транспортных и гражданских самолетов).

Соотношение видов материалов в изделиях базовой совокупности в %

стали — 28,0
титановых сплавов — 3,0
цветных металлов — 69,0

Пример

Соотношение видов материалов в изделии в %

стали — 70,0
титановых сплавов — 5,0
цветных металлов — 25,0

$K_M = 1,9$.

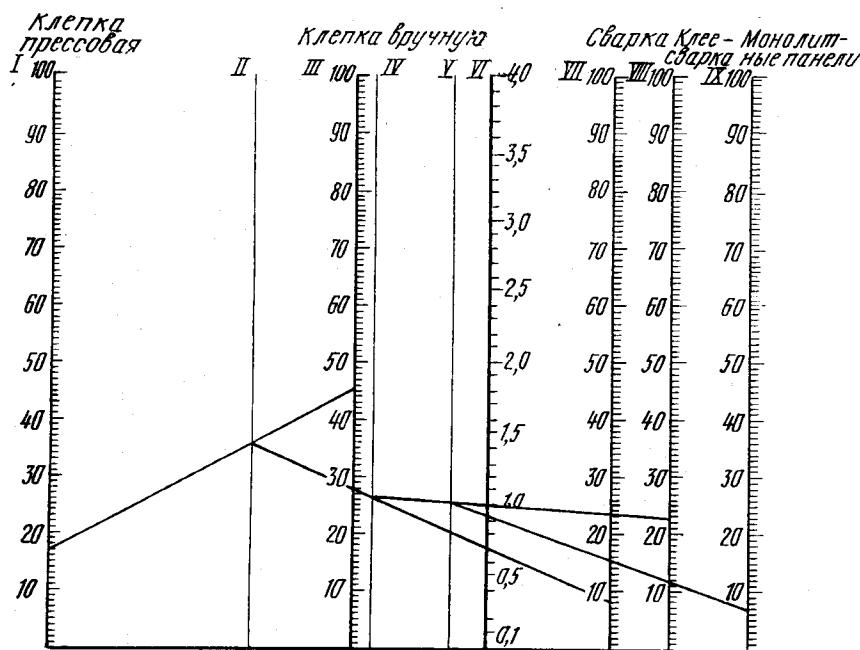
При прогнозировании трудоемкости новых самолетов необходимо учитывать планируемый прирост производительности труда в отрасли. Для этого величина трудоемкости, рассчитанная по экономико-математической модели, корректируется коэффициентом K_n , который может быть определен по формуле

$$K_n = \frac{100}{100 + 0,4 a l}, \quad (10)$$

где a — среднегодовой темп прироста производительности труда, %;

0,4 — доля среднегодового темпа прироста производительности труда, обеспечиваемая ростом производительности труда основных производственных рабочих;

l — количество лет от базового года до года запуска нового изделия в серийное производство (года, для которого прогнозируется трудоемкость).



Ключ к номограмме: I-III-II-VII-IV-VIII-V-VI-IX-VI

Рис. 2. Номограмма определения коэффициента K_T (для транспортных и гражданских самолетов).

Соотношение видов соединений в изделиях базовой совокупности в %.

клепка прессовая	— 25,0
клепка вручную	— 73,0
сварка	— 0,5
клеесварка	— 0,5
монолитные панели	— 1,0

Пример

Соотношение видов соединений в изделии в %

монолитные панели	— 7,0
клепка прессовая	— 17,0
клепка вручную	— 45,0
сварка	— 8,0
клеесварка	— 23,0

$$K_T = 0,93$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ САМОЛЕТОВ

Трудоемкость модифицированных самолетов может быть определена двумя методами:

1. С помощью коэффициента технологической сложности и коэффициента изменения объема работ по сравнению с изделием-аналогом, трудоемкость которого известна.

2. Путем оценки трудоемкости изготовления изменяемых элементов конструкции модифицированного самолета и суммирования их трудоемкости с трудоемкостью изготовления неизменяемой части самолета-аналога.

Первый метод основан на сопоставительном анализе конструктивно-технологических характеристик модифицированного изделия и однотипного изделия-аналога, ранее находившегося в серийном производстве. Как правило, сопоставление проводится с последним изделием, на смену которому пришло модифицированное. В результате сопоставительного анализа устанавливаются два коэффициента: конструктивно-технологической сложности K_c и изменения объема работ K_G .

Коэффициент K_c определяется ОКБ-разработчиком совместно с технологами НИАТ при участии работников серийного завода, исходя из сопоставительного анализа основных видов работ или основных элементов конструкции модифицированного самолета и самолета-аналога, утверждается Генеральным конструктором или его заместителем и передается заводу-изготовителю вместе с технической документацией.

Коэффициент изменения объема работ K_G определяется путем сравнения характеристик массы модифицированного самолета и самолета-аналога и использования закономерностей и изменения трудоемкости в зависимости от массы пустого самолета

или от массы и скорости по группе или подгруппе аналогичных самолетов. Эта закономерность устанавливается исходя из соотношения нормативных величин трудоемкости по оригинальным самолетам, имеющим массу модифицированного самолета и самолета-аналога

$$K_G = \frac{T_n}{T_{н.а}}, \quad (11)$$

где T_n — нормативная трудоемкость оригинального самолета, имеющего массу модифицированного, для конкретного количества самолетов;

$T_{н.а}$ — нормативная трудоемкость изготовления самолета-аналога для того же количества самолетов.

Трудоемкость модифицированного самолета T_m с учетом K_c и K_G определяется по формуле

$$T_m = T_a K_c K_G, \quad (12)$$

где T_a — фактическая трудоемкость изготовления самолета-аналога, заменяемого модифицированным.

Трудоемкость, рассчитанная указанным методом, соответствует первому порядковому номеру.

Трудоемкость последующих порядковых номеров модифицированного самолета рассчитывается как сумма двух составляющих: величины прироста трудоемкости ($\Delta t = T_m - T_a$), определяемой по динамике оригинального изделия, начиная с 1-го порядкового номера, и трудоемкости самолета-аналога, рассчитанной на суммарные порядковые номера оригинального и модифицированного самолетов.

Основой второго метода служат методические и справочно-нормативные материалы по трудоемкости изготовления основных элементов конструкции: фюзеляжа, крыла, оперения, шасси и т. п., созда-

ваемые на базе анализа трудоемкости по цехам основного производства.

Зависимости эти имеют вид:
для фюзеляжа

$$T_{\phi} = A_0 G^{\lambda_1} n_{\text{шп}}^{\lambda_2} N^{-\lambda_3} (a + b K'_m); \quad (13)$$

для крыла

$$T_k = A'_0 S^{\lambda'_1} N^{-\lambda'_3} (a_1 + b_1 K'_m); \quad (14)$$

для оперения

$$T_o = A''_0 G^{\lambda''_1} S^{\lambda''_2} N^{-\lambda''_3} (a_2 + b_2 K'_m); \quad (15)$$

для шасси

$$T_{\text{ш}} = A'''_0 G^{\lambda'''_1} N^{-\lambda'''_3} (a_3 + b_3 K'_m), \quad (16)$$

где T_{ϕ} , T_k , T_o , $T_{\text{ш}}$ — трудоемкость, соответственно фюзеляжа, крыла, оперения и шасси, чел-ч;

G — масса конструкции того или иного элемента, кг;

$n_{\text{шп}}$ — число шпангоутов, шт.;

S — площадь крыла, оперения, м^2 ;

N — количество самолетов, изготовленных с начала производства, шт.;

a , a_1 , a_2 , a_3 — доля трудоемкости, не подлежащая корректировке на K'_m ;

b , b_1 , b_2 , b_3 — доля машинного времени заготовительно-штамповочных, механических и основного времени слесарно-опиловочных работ в общей трудоемкости изготовления элемента конструкции;

K'_m — поправочный коэффициент, учитывающий отличия в удельном соотношении применяемых в конструкции каждого элемента материалов;

$$A_0, A'_0, A''_0, A'''_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda'_1, \lambda'_2, \lambda'_3, \lambda''_1, \lambda''_2, \lambda''_3, \lambda'''_1, \lambda'''_2, \lambda'''_3$$

— параметры моделей, полученные в результате расчетов на ЭВМ.

Конкретные числовые значения параметров экономико-математических моделей даны в соответствующих справочно-нормативных материалах.

Объем работ по окончательной сборке и монтажу определяется в процентах от общей трудоемкости изготовления изделия исходя из анализа трудоемкости цехов, выполняющих этот вид работ.

Основным вопросом при определении трудоемкости вторым методом является анализ поэлементных отличий модифицированного самолета от аналога и выявление новизны и сложности элементов, по которым проведены изменения. Трудоемкость модифицированного самолета в данном случае определяется по формуле

$$T_m = \left(T_a - \sum_1^n T_{\text{изм}_i} C_i \right) + \sum_1^n T_{\text{нов}_i} C_i, \quad (17)$$

где $T_{\text{изм}_i}$ — расчетная или фактическая трудоемкость изменяемого элемента конструкции самолета-аналога на момент запуска в производство нового модифицированного самолета, чел-ч;

$T_{\text{нов}_i}$ — расчетная трудоемкость нового элемента конструкции, соответствующая первому порядковому номеру самолета, чел-ч;

C_i — часть трудоемкости i -го элемента конструкции, претерпевшая изменения;

n — количество элементов, претерпевших изменение.

Динамика трудоемкости неизменяемой части самолета $\left(T_a - \sum_1^n T_{\text{изм}_i} C_i \right)$ определяется по свойственной для данной группы самолетов зависимости с учетом количества самолетов, предшествующих данной модификации, динамика трудоемкости новой части конструкции $\left(\sum_1^n T_{\text{нов}_i} C_i \right)$ — как вновь запущенных в серийное производство.

Глава 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЦЕНЫ НОВЫХ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

Одной из важнейших задач технико-экономической оценки новых изделий является предварительное определение полной себестоимости их изготовления в условиях серийного производства. Под полной себестоимостью промышленного изделия понимается сумма затрат предприятия на производство и реализацию этого изделия.

В авиационной промышленности существует типовая группировка затрат, образующих полную себестоимость, которые имеют следующую номенклатуру статей:

1. Сырье и материалы (за вычетом отходов).

2. Покупные полуфабрикаты (за вычетом отходов) и услуги кооперированных предприятий.

3. Основная заработная плата производственных рабочих.

4. Расходы по освоению новых видов продукции (постановочные).

5. Расходы на специальную оснастку.

6. Специальные расходы.

7. Цеховые расходы.

8. Общезаводские расходы.

9. Прочие производственные расходы.

Итого: собственные затраты предприятия.

10. Покупные комплектующие изделия.

11. Стоимость двигателя (двигателей).

Итого: производственная себестоимость.

12. Внепроизводственные расходы.

Итого: полная себестоимость изделия.

В виду различий в формировании и динамике собственных затрат и стоимости готовых изделий предварительное определение себестоимости осуществляется путем раздельного расчета собственных затрат и стоимости покупных комплектующих изделий и двигателей.

На этапах технического предложения и эскизного проектирования новых летательных аппаратов применяются, как правило, методы укрупненного расчета себестоимости с определением общей суммы собственных затрат в целом и стоимости покупных комплектующих изделий.

На последующих этапах расчет собственных затрат осуществляется дифференцированно по статьям калькуляции. В том и другом случаях уровень собственных затрат определяется на первую серийную машину и устанавливается динамика снижения затрат по мере освоения серийного производства. В соответствии с этой динамикой определяется уровень собственных затрат на серийное изделие любого порядкового номера.

Сумма затрат на комплектующие изделия и двигатели определяется с учетом закономерностей изменения их стоимости на тот период, которому будет соответствовать уровень собственных затрат серийного завода.

Таким образом, полная себестоимость серийной машины C может быть выражена в виде следующей суммы

$$C = Z_c + C_{\text{ки}} + C_{\text{дв}} + P_{\text{вн}}, \quad (18)$$

где Z_c — собственные затраты на серийную машину заданного порядкового номера;

$C_{\text{ки}}$ — стоимость покупных комплектующих изделий;

$C_{\text{дв}}$ — стоимость двигателя (двигателей), соответствующая периоду производства летательного аппарата;

$P_{\text{вн}}$ — величина внепроизводственных расходов.

МЕТОД УКРУПНЕННОГО РАСЧЕТА СОБСТВЕННЫХ ЗАТРАТ

Сумма собственных затрат на новый летательный аппарат при укрупненном расчете определяется по экономико-математической модели

$$Z_c = A G^{\lambda_1} V^{\lambda_2} N^{-\lambda_3} i^{\lambda_4} K_0 \times K_r, \quad (19)$$

где Z_c — собственные затраты на новое серийное изделие;

A — постоянная величина, выражающая величину собственных затрат для данного класса самолетов при значении факторов, равном 1;

G — масса пустого изделия, т;

V — максимальная скорость полета на установленной ТТЗ высоте, в числах M ;

N — порядковый номер самолета с начала серийного производства, соответствующий году, по которому устанавливается проект оптовой цены;

i — период от выпуска первого самолета до выпуска самолета с порядковым номером N ;

K_0 — коэффициент увеличения затрат, учитывающий отчисления в фонд освоения новой техники (для гражданских самолетов);

K_r — корректирующий коэффициент, учитывающий изменение закономерности формирования собственных затрат во времени. Значения этого коэффициента определяются по модели

$$K_r = a + bt, \quad (20)$$

где

a, b — постоянные коэффициенты;

t — число лет от года, принятого за базу, до года производства самолета с порядковым номером N ;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ — параметры модели.

Предварительное определение собственных затрат может быть осуществлено на основе данных о собственных затратах при производстве изделия-прототипа

$$Z_c = Z_c^{\text{пр}} K_{\text{уд}}, \quad (21)$$

где Z_c — собственные затраты на новое изделие с порядковым номером N ;

$Z_c^{\text{пр}}$ — собственные затраты изделия-прототипа с порядковым номером N ;

$K_{\text{уд}}$ — коэффициент корректировки собственных затрат, учитывающий удорожание (удешевление) производства нового изделия по сравнению с изделием-прототипом.

Коэффициент удорожания определяется как произведение коэффициента конструктивно-технологической сложности K_c , коэффициента изменения объема работ K_G нового изделия по сравнению с изделием-прототипом и коэффициента, учитывающего рост производительности труда в отрасли за период от времени производства изделия-прототипа до серийного производства нового изделия $K_{\text{п}}$. Методика расчета этих коэффициентов изложена в главе 3.

Указанные методы определения собственных затрат не исключают, а дополняют друг друга. Поэтому на практике используется как тот, так и другой способы расчета с последующим сопоставлением результатов; как правило, расхождение не должно превышать 10—15%. В качестве окончательной суммы может быть принята средняя из определенных этими двумя методами.

МЕТОД РАСЧЕТА СОБСТВЕННЫХ ЗАТРАТ ПО СТАТЬЯМ КАЛЬКУЛЯЦИИ

Дифференцированный расчет собственных затрат на серийное производство нового летательного аппарата осуществляется по статьям калькуляции на первое изделие.

Стоимость материалов и покупных полуфабрикатов C_m рассчитывается по методике, изложенной в главе 2.

Сумма основной заработной платы производственных рабочих C_3 определяется исходя из установленной нормативной трудоемкости T средней стоимости 1 чел-ч работы $C_ч$ и коэффициента K_3 ; учитывающего рост заработной платы, по формуле

$$C_3 = C_ч T K_3. \quad (22)$$

Расходы по освоению новых видов продукции $P_{пс}$ (сумма постановочных расходов) определяются из соотношения

$$P_{пс} = P_{пс}^{пр} \frac{G_n}{G_{пр}} K_c, \quad (23)$$

где $P_{пс}^{пр}$ — сумма постановочных расходов на изделие-прототип;

$G_n, G_{пр}$ — масса пустых изделий, соответственно нового и прототипа;

Затраты предприятий, связанные с освоением производства новых изделий, а также расходы по изготовлению или приобретению специальной оснастки, произведенные в период освоения, погашаются или из фонда освоения новой техники (для гражданских самолетов и вертолетов).

Размер отчислений в фонд новой техники, списываемых по статье «постановочные расходы», определяется по установленному Министерством проценту от производственной себестоимости.

Расходы на специальную оснастку $P_{осн}$ рассчитываются по формуле

$$P_{осн} = e^{A_0 + A_1 G + A_2 V - A_3 Q}, \quad (24)$$

где e — основание натурального логарифма;

A_0, A_1, A_2, A_3 — параметры модели;

V — максимальная скорость полета, на заданной ТТЗ высоте, в числах M ;

Q — суммарная годовая программа выпуска.

Сумма специальных расходов $P_{сп}$, списываемых на одно изделие с порядковым номером N с начала серийного производства, определяется по формуле

$$P_{сп} = e^{A_0 + A_1 G - A_2 N}. \quad (25)$$

Сумма цеховых расходов $P_ц$ и общезаводских $P_з$ расходов определяется по процентам этих расходов к основной заработной плате производственных рабочих, сложившихся на заводе-изготовителе новой машины:

$$P_ц = C_3 \frac{П_ц}{100}; \quad (26)$$

$$P_з = C_3 \frac{П_з}{100}, \quad (27)$$

где $П_ц, П_з$ — соответственно процент цеховых и общезаводских расходов по отношению к заработной плате основных производственных рабочих на заводе-изготовителе новой машины.

Сумма прочих производственных расходов определяется по формуле

$$P_{пп} = 0,033 C_3. \quad (28)$$

Общая величина собственных затрат определяется суммой

$$Z_c = C_m + C_3 + P_{пс} + P_{осн} + P_{сп} + P_ц + P_з + P_{пп}. \quad (29)$$

УСТАНОВЛЕНИЕ ДИНАМИКИ СОБСТВЕННЫХ ЗАТРАТ

Для установления динамики собственных затрат наиболее часто используется зависимость

$$Z_{cN} = Z_c N^{-\lambda_1}, \quad (30)$$

где Z_{cN} — собственные затраты на изделие N -го порядкового номера;

Z_c — собственные затраты на изделие первого порядкового номера;

N — порядковый номер изделия с начала серийного производства;

λ_1 — коэффициент, характеризующий темп снижения собственных затрат ($-1 < \lambda_1 < 0$).

Темпы снижения собственных затрат по новому изделию, определяемые величиной λ , принимаются по аналогии с изменением собственных затрат по изделию-прототипу. Для определения значений λ составлена табл. XXI.4.3, использование которой иллюстрируется следующим примером.

Пример. Определить собственные затраты на изготовление 12-го изделия ($N=12$). Затраты на производство первого изделия составили 200 тыс. руб. ($Z_c=200$ тыс. руб.). Снижение собственных затрат по изделию-прототипу происходило по 83-процентной кривой ($\lambda=-0,27$). На пересечении строки 11, соответствующей $N=12$, с графой 5 ($\lambda=-0,27$) находят число $12^{-0,27}=0,513$.

Следовательно, $Z_{c12}=200 \cdot 0,513=102,6$ тыс. руб.

Таблица XXI.4.3

Коэффициенты изменения собственных затрат в зависимости от числа выпущенных изделий (отношение суммы собственных затрат на изделие любого порядкового номера к сумме собственных затрат на 1-е изделие, выпущенное в серийном производстве)

Поряд- ковый номер изделия	Процентность кривой								
	77	80	83	85	88	90	93	95	98
	—0,37	—0,32	—0,27	—0,24	—0,18	—0,15	—0,11	—0,08	—0,03
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	0,770	0,800	0,830	0,850	0,880	0,900	0,930	0,950	0,980
3	0,661	0,702	0,744	0,773	0,817	0,846	0,891	0,928	0,970
4	0,593	0,640	0,689	0,722	0,774	0,810	0,856	0,904	0,960
5	0,545	0,595	0,648	0,685	0,743	0,783	0,845	0,892	0,953
6	0,509	0,562	0,617	0,657	0,719	0,761	0,829	0,879	0,951
7	0,480	0,534	0,592	0,633	0,699	0,744	0,816	0,867	0,943
8	0,456	0,512	0,572	0,614	0,682	0,729	0,804	0,855	0,941
9	0,436	0,491	0,554	0,597	0,667	0,717	0,795	0,849	0,936
10	0,419	0,476	0,538	0,583	0,654	0,705	0,785	0,843	0,934
12	0,392	0,449	0,513	0,558	0,632	0,685	0,771	0,837	0,928

Продолжение табл. XXI.4.3

Поряд- ковый номер изделия	Процентность кривой									
	77	80	83	85	88	90	93	95	98	
	0,37	0,32	0,27	0,24	0,18	0,15	0,11	0,08	0,03	
14	0,369	0,427	0,492	0,539	0,615	0,670	0,759	0,831	0,924	
16	0,352	0,409	0,475	0,522	0,600	0,656	0,748	0,813	0,922	
18	0,336	0,394	0,459	0,508	0,587	0,644	0,740	0,807	0,916	
20	0,323	0,381	0,446	0,495	0,576	0,634	0,731	0,801	0,915	
25	0,297	0,355	0,421	0,470	0,553	0,613	0,714	0,789	0,908	
30	0,277	0,334	0,400	0,450	0,534	0,596	0,701	0,771	0,903	
40	0,249	0,305	0,371	0,421	0,507	0,571	0,680	0,765	0,897	
50	0,228	0,284	0,349	0,399	0,486	0,552	0,664	0,753	0,890	
75	0,196	0,249	0,313	0,363	0,451	0,519	0,637	0,728	0,879	
100	0,176	0,227	0,289	0,339	0,427	0,497	0,618	0,717	0,872	
125	0,162	0,211	0,273	0,322	0,411	0,481	0,605	0,705	0,865	
150	0,151	0,199	0,260	0,309	0,398	0,468	0,592	0,693	0,861	
175	0,142	0,190	0,249	0,298	0,386	0,456	0,583	0,687	0,857	
200	0,135	0,182	0,240	0,289	0,376	0,447	0,575	0,680	0,855	
225	0,129	0,175	0,233	0,281	0,368	0,439	0,568	0,675	0,850	
250	0,124	0,169	0,227	0,274	0,362	0,433	0,562	0,669	0,848	
275	0,120	0,164	0,221	0,268	0,356	0,426	0,556	0,663	0,845	
300	0,116	0,159	0,215	0,263	0,349	0,420	0,551	0,657	0,844	
325	0,113	0,155	0,211	0,258	0,344	0,416	0,547	0,654	0,841	
350	0,109	0,152	0,207	0,253	0,339	0,411	0,542	0,651	0,840	
375	0,107	0,148	0,203	0,249	0,336	0,407	0,539	0,648	0,837	
400	0,104	0,145	0,200	0,245	0,331	0,403	0,535	0,645	0,836	
450	0,099	0,140	0,193	0,238	0,324	0,395	0,529	0,642	0,833	
500	0,096	0,135	0,188	0,233	0,319	0,389	0,522	0,639	0,831	

РАСЧЕТ СТОИМОСТИ ПОКУПНЫХ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ И ДВИГАТЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Расчет стоимости покупных комплектующих изделий выполняется по их спецификации, представляемой ОКБ-разработчиком новой машины. Эта спецификация уточняется по этапам создания новой машины.

Существенной особенностью комплектующего оборудования является то, что наряду с серийно изготавливаемыми изделиями в его состав входят и опытные экземпляры. Серийно изготавливаемые изделия могут иметь как преysкуранные, так и временные оптовые цены. Первые остаются неизменными на всем протяжении производства изделий, вторые до их включения в преysкурант снижаются по мере освоения серийного производства этих изделий. Что касается опытных экземпляров, то цены на эти изделия устанавливаются КБ — разработчиками условно. При этом за исходную базу прини-

мают стоимость изделия-аналога, ранее находившегося или находящегося в данный момент в серийном производстве. Для корректировки стоимости новой разработки методом экспертных оценок устанавливается коэффициент удорожания.

Расчет стоимости покупных комплектующих изделий удобно выполнять по схеме, представленной в форме 6.

Форма 6

Схема расчета затрат на комплектующие изделия

Группы комплектующих изделий	Наименование оборудования	Единица измерения	Число	Цена	Сумма
С преysкуранными ценами					
ИТОГО:					
С временными ценами					
ИТОГО:					
С условными ценами (опытные экземпляры)					
ИТОГО:					
ВСЕГО:					

Цена каждого вида изделий принимается с учетом изменения ее уровня к периоду начала серийного производства нового летательного аппарата.

Для установления динамики снижения затрат на комплектацию нового летательного аппарата можно пользоваться табл. XXI.4.4, составленной на основе статистических данных.

Таблица XXI.4.4

Группа комплектующих изделий	Коэффициенты снижения суммы затрат на комплектующие изделия по годам производства летательного аппарата					
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
С преysкуранными ценами	Практически не снижаются					
С временными и условными ценами	1,0	0,8	0,7	0,67	Практически не снижаются	

На рассчитанную указанным методом стоимость покупных комплектующих изделий могут начисляться транспортно-заготовительные расходы в размере от 3% для центральных районов до 5% для отдаленных районов страны. Необходимость этого начисления зависит от полноты спецификации комплектующих изделий, точности установления их стоимости и величины общей суммы затрат на комплектующие изделия.

В тех случаях, когда отсутствует спецификация, стоимостную оценку производят по разработанным справочно-нормативным материалам для определения затрат на комплектующие изделия.

Стоимость двигателя определяется по прейскуранту. В тех случаях, когда на новый летательный аппарат проектируется установка двигателя, еще не имеющего опытного образца, затраты на него должны рассчитываться по методике определения стоимости новых авиационных двигателей.

Транспортно-заготовительные расходы в стоимость двигателя как правило, не входят, так как составляют незначительную долю стоимости самого двигателя.

Сумма собственных затрат и стоимости покупных комплектующих изделий и двигателя образует производственную себестоимость летательного аппарата. Полная себестоимость летательного аппарата определяется увеличением производственной себестоимости на сумму внепроизводственных расходов, которые составляют 0,2—0,4% от производственной себестоимости.

УСТАНОВЛЕНИЕ ОПТОВОЙ ЦЕНЫ ИЗДЕЛИЯ

Оптовые цены на самолеты и вертолеты, достаточно полно отражая общественно необходимые издержки производства (себестоимость изделия), должны также предусматривать:

— экономически обоснованный уровень рентабельности, обеспечивающий нормальную работу предприятия в новых условиях планирования и экономического стимулирования производства;

— соблюдение правильных соотношений цен на аналогичные изделия.

На все военные самолеты и вертолеты на период освоения их в серийном производстве устанавливаются временные оптовые цены.

Для освоенного серийного производства устанавливаются прейскурантные цены.

С введением в настоящее время порядка финансирования затрат на подготовку и освоение новых гражданских самолетов и вертолетов из фонда освоения на них устанавливаются единые прейскурантные цены исходя из плановой себестоимости серийноосвоенного производства, включающей отчисления в фонд освоения в установленном размере.

В соответствии с инструкцией Государственного комитета цен «О порядке и сроках разработки и утверждения оптовых цен на военную технику и военное имущество» (1964 г.) временные цены на основную продукцию отрасли устанавливаются на первые два года серийного производства изделий. При этом в связи с конструктивной сложностью и значительной разницей в себестоимости между первым и вторым годами серийного выпуска временные цены, как правило, устанавливаются на первый и второй годы выпуска раздельно.

При разработке оптовых цен в качестве исходной базы принимаются:

для временных цен — плановая себестоимость периода, на который действуют эти цены (средняя за один или за два года);

для прейскурантных цен — себестоимость серийно освоенного изделия.

Для определения как временной, так и прейскурантной оптовой цены на полную себестоимость изделия начисляется действующий в отрасли процент рентабельности, уровень которой к себестоимости по группам изделий устанавливается Министерством по согласованию с Государственным комитетом цен.

© НИАТ, 1983 г.

Редакторы: Э. О. Игошина, М. М. Валюхова, Р. С. Чистова, Р. Т. Уланова, Т. С. Федосова

Технический редактор Л. В. Сеницына

Сдано в набор 5/VI 1981 г.

Подп. в печ. 21/IV 1983 г.

Формат 60×90/8

Бумага типографская № 1

Литературная гарнитура

Высокая печать

Печ. л. 89,75+5 вклеск+21 вкладка=96,5

Цена 24 руб. 30 коп.

Тираж 250 экз.

Типография НИАТ

Зак. 40