



Клеи для авиационной техники

А.П. Петрова

доктор технических наук

Н.Ф. Лукина

кандидат технических наук

Л.А. Дементьева

Т.Ю. Тюменева

И.А. Авдоница

Н.С. Жадова

Июль 2009

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Российский химический журнал», т. LIV, № 1, 2010 г.

Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public

Клеи для авиационной техники

А.П. Петрова, Н.Ф. Лукина, Л.А. Дементьева,
Т.Ю. Тюменева, И.А. Авдоница, Н.С. Жадова

Всероссийский институт авиационных материалов

Применение клеев в авиационной технике началось вместе с возникновением самой авиации. На первом этапе создания авиационной техники основным авиационным материалом была природная древесина. Первым синтетическим клеем, разработанным ВИАМ (40-е годы прошлого века), был фенолоформальдегидный клей ВИАМ-БЗ, который положил начало применению в авиационной промышленности синтетических клеев [1].

В настоящее время насчитывается более ста разработок ВИАМ в этой области. Клеи рекомендованы для эксплуатации в интервале температур от -269°C до 1600°C , обеспечивают работу металлических и неметаллических конструкций в различных климатических зонах [2, 3]. В статье представлены сведения по клеям, которые широко применяются в настоящее время в ответственных агрегатах авиационной техники.

Фенолокаучуковые клеи

Создание реактивной авиации, основным материалом которой являются алюминиевые сплавы, положило начало созданию конструкционных фенолокаучуковых клеев. При их отверждении происходит химическое взаимодействие гидроксильных и метилольных групп фенолоформальдегидного олигомера с нитрильными, гидроксильными, карбонильными или другими функциональными группами каучука с образованием сетчатой структуры. Процесс отверждения проходит по механизму поликонденсации с выделением летучих продуктов.

Модификация фенолоформальдегидных олигомеров каучуками позволяет получить клеящие системы, сочетающие положительные свойства как фенолоформальдегидного олигомера (высокие прочность и теплостойкость), так и каучука (высокая эластичность). Примерами таких клеев являются ВК-3,

ВК-32-200, ВК-25, обеспечивающие клеевым соединениям прочность при сдвиге до 20 МПа и эластичность отвержденной пленки клеевого слоя 150–200%. Фенолокаучуковые клеи помогли решить важнейшую народно-хозяйственную задачу – создать отечественные силовые клеевые авиационные конструкции, в т.ч. сотовые, с высоким ресурсом и надежностью.

Первые фенолокаучуковые клеи при отверждении выделяли летучие продукты, в связи с чем при отверждении требуется высокое давление, а при склеивании сотовых конструкций для удаления этих продуктов необходима перфорация сотового наполнителя. Этих недостатков лишен фенолокаучуковый клей ВК-50, в рецептуре которого использован фенолоформальдегидный олигомер с неопределенными связями. В отличие от всех остальных фенолокаучуковых клеев он отверждается без выделения побочных продуктов по механизму полимеризации за счет использования в его рецептуре пероксида и не требует высокого давления при склеивании.

Свойства фенолокаучуковых клеев, применяемых в настоящее время, представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Свойства некоторых фенолокаучуковых клеев

Показатель	Марка клея			
	ВК-3	ВК-32-200	ВК-25	ВК-50
Интервал рабочих температур, °С	-60...+80	-60...+200	-60...+80	-60...+150
Прочность при сдвиге τ_v , МПа	15	13,5	23	25±5
Прочность при отрыве σ_v , МПа	–	–	22	25±5
Прочность при расслаивании $S_{рассл}$, кН/м	–	–	5–6	10
Относительное удлинение γ , %	–	–	140–200	135–150
Длительная прочность $\sigma_{д.п}$, МПа (на базе времени, ч)	–	–	18,5 (500)	17 (500)
Усталостная прочность τ_{max} , МПа (на базе циклов $N=10^7$ циклов)	–	–	9	10

Клеи на основе эпоксидных олигомеров

Разработан широкий ассортимент высокопрочных пленочных и пастообразных клеев конструкционного назначения на основе эпоксидных олигомеров с широким диапазоном прочностных и деформационных

свойств, по своим свойствам не уступающим лучшим зарубежным аналогам. Свойства высокопрочных пленочных клеев представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Характеристики основных эпоксидных пленочных клеев

Марка клея	Интервал рабочих температур, °С	Прочностные характеристики клея					
		τ_b , МПа	σ_b , МПа	$S_{\text{рассл}}$, кН/м	γ , %	$\sigma_{\text{д.п.}}$, МПа (время, ч)	τ_{max} , МПа при $N=10^7$ цикл ов
ВК-36	-130...+160	$37 \pm 2,5$	50	2–3	80–100	34 (500) 33 (1000)	8
ВК-41М	-60...+80	$35 \pm 2,5$	–	3–4	–	30 (500)	–
ВК-46Б	-60...+80	$36 \pm 2,5$	–	3–5	–	32 (500)	–
ВК-51	-60...+80	$40 \pm 2,5$	–	3	70–120	32,4 (500)	9
ВК-51А	-60...+80	$37,5 \pm 2,5$	–	3	40	22,4 (500)	9

Клеи используются для изготовления сотовых и слоистых силовых конструкций из металлов и полимерных композиционных материалов. Клеевые соединения обладают высокой длительной прочностью, вибростойкостью, стойкостью к распространению трещин, к воздействию климатических факторов и агрессивных сред. Клей ВК-46Б относится к категории трудносгораемых с пониженным дымовыделением и используется для склеивания сотовых конструкций с пониженной горючестью. Высокопрочные пленочные клеи применяются в качестве клеевой матрицы долгоживущих клеевых препрегов для полимерных композиционных материалов с улучшенными свойствами.

Широкое применение находят в авиационной промышленности пастообразные клеи на основе эпоксидных олигомеров.

Большое значение имеют работы по созданию клеев для комбинированных соединений: холодного отверждения ВК-9, ВК-27 и горячего отверждения ВК-37 и ВК-39. Эти клеи предназначены для склеивания металлов и различных неметаллических материалов в клеевых и комбинированных (клееклепанных, клеесварных, клеерезьбовых) соединениях в различных отраслях промышленности.

Клеевые соединения, выполненные с применением этих клеев, имеют высокую водо- и тропикостойкость и обеспечивают снижение веса клепаных конструкций.

Клеи ВК-37, ВК-39 отверждаются при повышенной температуре (120°C , 3 ч) и позволяют создать клееклепаные и клеесварные конструкции с высоким ресурсом и надежностью.

Большое значение имеют клеи холодного отверждения при ремонте авиационной техники. В настоящее время почти во всех изделиях отечественной авиационной и космической техники эксплуатируются клееные агрегаты сотовой и слоистой конструкции из Al-сплавов и полимерных композиционных материалов, которые подвержены различным эксплуатационным повреждениям. В ФГУП «ВИАМ» разработан высокопрочный двухкомпонентный клей холодного отверждения ВК-67, который превосходит все ранее разработанные клеи этого класса. Клей ВК-67 превосходит клей ВК-27 по прочности на 20 и 75% при температуре испытания 20 и 80°C соответственно, по эластичности в 3–4 раза, теплостойкости (температура эксплуатации составляет 125°C вместо 80°C) и по технологичности – он может применяться в условиях повышенной влажности и на влажных поверхностях при температуре не ниже 12°C .

Также разработан быстроотверждающийся эпоксидный клей ВК-93, обеспечивающий достаточный уровень начальной прочности клеевых соединений через несколько часов отверждения при температуре $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$, что позволяет существенно снизить трудоемкость технологического процесса склеивания за счет возможности проведения последующих технологических операций до полного завершения процесса склеивания. Без таких клеев невозможно обойтись при проведении ремонтных работ, когда нет возможности применить нагрев для ускорения отверждения клеевых соединений. В сравнении с клеем ВК-27 разработанный клей ВК-93 имеет следующие преимущества: начальная прочность клеевых соединений достигается через 5 ч отверждения при температуре $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ($\tau_{20^{\circ}\text{C}} \geq 7,0$ МПа),

прочность клеевых соединений при сдвиге после термостарения (80°C, 1000 ч) при температуре испытания 80°C повышается на 33%, сокращается время окончательного отверждения при 20±5°C вдвое – до 24 ч вместо 48 ч. Свойства клеев холодного отверждения представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Прочностные свойства клеев холодного отверждения

Свойства клеевых соединений	Температура испытания, °C	Марка клея				
		ВК-9	ВК-27	ВК-67	ВК-93	
					5 ч отверждения	24 ч отверждения
Прочность при сдвиге τ_b , МПа	20	15	25	30	9,0	22
	80	–	10	19	9,0	12
	125	4	–	10	–	–
Прочность при отслаивании, $S_{отсл}$, кН/м	20	1–2	2–3	3–5	–	2

Из клеев для приборной техники следует отметить токопроводящий клей ВКП-11 для склеивания алюминиевых сплавов, коррозионностойкой стали, латуни и меди, для создания электрического контакта в конструкциях, работающих в интервале температур от -60°C до +120°C. Клей выдерживает испытания при 120°C в течение 1000 ч. Удельное объемное сопротивление клея при 20°C – не более $5 \cdot 10^{-4}$ Ом·м. Клей не содержит в своем составе драгметаллов.

Свойства клея ВКП-11 представлены в табл. 4.

Таблица 4.

Свойства токопроводящего клея ВКП-11

Показатель	Значение
Режим отверждения:	
температура, °C	120
время, ч	3
удельное давление, МПа	0,05–0,1
Интервал рабочих температур, °C	-60...+120
Прочность при сдвиге τ_b , МПа, при температуре, °C	
20	14,0
80	13,0

Термостойкие клеи

Термостойкие клеи, разработанные в ФГУП «ВИАМ», нашли широкое применение в двигателестроении, в изделиях спецтехники, а также в народном хозяйстве. Они используются для приклеивания теплоизоляционных и других термостойких неметаллических материалов; склеивания изделий из высокоплотной керамики (без специальной обработки поверхности); крепления к поверхности испытываемых изделий тензометрической оснастки и различных датчиков; ремонта и уплотнения соединений; склеивания магнитопроводов, монтажа кристаллов; изготовления оптических пирометров.

Клеи обеспечивают работоспособность клеевых соединений при температурах 300–350°C (длительно) и до температуры 1600°C кратковременно. В настоящее время находят применение следующие термостойкие клеи.

Однокомпонентный в состоянии поставки низковязкий клей ВК-26М предназначен для склеивания пакетов магнитопроводов особо точных приборов и работоспособен при температурах до 300°C.

Клей ВК-78 предназначен для склеивания неметаллических теплоизоляционных материалов из керамики на основе нитрида и карбида кремния, работающих в окислительной среде кратковременно (в течение 30 мин) при температурах до 1400 и 1600°C соответственно. Клей рекомендован для приклеивания высокотемпературных термодатчиков и монтажа оснастки к поверхности элементов двигателя, изготовленных из керамики на основе нитрида кремния, что позволило провести стендовые испытания нового изделия при температурах до 1200°C. Клей не требует специальной подготовки поверхности керамики под склеивание.

Термостойкий клей ВК-58 холодного отверждения представляет собой многокомпонентную композицию и предназначен для использования в интервале температур от -60 до +250°C длительно и при 500°C кратковременно.

С применением клея ВК-58 разработана технология ремонта типовых дефектов систем кондиционирования воздуха (СКВ) в зоне двигателя.

В настоящее время ФГУП «ВИАМ» накоплен значительный опыт по разработке и использованию термостойких клеев холодного и горячего отверждения для целей термо- и тензометрирования.

Клей ВК-58 нашел применение для приклеивания тензорезисторов, использующихся для замера деформации в диапазоне температур от -60 до 300°C в изделиях авиакосмической техники, а также в изделиях бытовой измерительной техники при температурах от -60 до +60°C. Клей отвечает всем требованиям, предъявляемым к клеям для тензометрии: он технологичен (жизнеспособность клея составляет 7 ч), дает возможность получения тонкого клеевого шва, обеспечивает надежное крепление тензорезисторов к поверхности в диапазоне температур от -196 до +300°C. В процессе испытаний, проведенных в ФГУП «НИИФИ» (работа выполнена Л.В. Кулаковой и Л.А. Шамраковым), установлено, что клей ВК-58 не требует дополнительной термообработки приклеенных тензорезисторов для стабилизации их показаний. Уже при первом нагреве он обеспечивает качественную передачу деформации от исследуемой поверхности к решетке тензорезистора. В процессе повторных нагревов показания тензорезисторов практически не изменяются. Значение коэффициента тензочувствительности тензорезисторов, приклеенных клеем ВК-58, при температуре испытания 300°C составляет 1,82, ползучесть при указанной температуре – 5,56.

Высокотемпературные клеи-цементы

Решена, задача по расширению диапазона рабочих температур клеев, предназначенных для высокотемпературной тензо- и термометрии. Разработан высокотемпературный клей-цемент горячего отверждения ВКП-88Ц, который представляет собой композицию на основе смеси неорганических соединений. Клей-цемент ВКП-88Ц рекомендован для приклеивания рабочих термопар типа ПР 30/6 (платинородий-платинородий) к поверхности образцов из композиционного материала системы C/SiC при

проведении стендовых испытаний в окислительной среде при циклическом (до 24 циклов) воздействии температур от 20 до 1440°C (с выдержкой при 1440°C в течение 5 мин). Клей-цемент ВКП-88Ц также используется для приклеивания рабочих термопар типа ВР (вольфрам-рений) к поверхности образцов из композиционного материала системы C/SiC при проведении стендовых испытаний в вакууме при нагреве до температуры 1600°C с выдержкой при 1600°C в течение 10 мин.

Высокотемпературный клей-цемент ВКП-26Ц горячего отверждения на основе модифицированного кремнийорганического связующего предназначен для крепления проволоочной решетки и выводных проводов высокотемпературных тензорезисторов типа ЖЦН-10-120 на деталях газотурбинных двигателей для измерения динамических деформаций в интервале температур от 20 до 800°C.

Клеи на водной основе

Клей ВК-69 горячего отверждения представляет собой водную дисперсию на основе фенолоформальдегидного олигомера и модифицирующего полимера, не содержит в своем составе токсичных органических растворителей и по прочностным характеристикам находится на уровне свойств теплостойких клеев конструкционного назначения ВС-10Т и ВС-350, содержащих в своем составе токсичный органический растворитель этилацетат. Клей ВК-69 внедрен для приклеивания тензорезисторов, для изготовления тензомодулей в датчиках давления и сил при исследовании напряженного состояния различных конструкций и оборудования, работающих в диапазоне температур от -100 до +200°C и кратковременно при температуре 300°C. Разработана модификация клея ВК-69М, которая в сравнении с клеем ВК-69 обладает улучшенными технологическими характеристиками: прочностные характеристики клея при температурах от 20 до 300°C превосходят характеристики клея ВК-69 на 15–20%.

Клей ТПК-2, представляющий собой водный раствор модифицированного неорганического связующего, работоспособен при

температурах до 1200°C и используется в качестве заливочного материала при изготовлении электроразъемов нагревательных приборов. Клей можно использовать для приклеивания футеровки, склеивания элементов и уплотнения зазоров между ними в конструкции обогревающих устройств.

Новые термостойкие клеи ВИАМ

В настоящее время ряд термостойких клеев, применяемых в изделиях отечественной авиационной техники, оказался в разряде дефицитных из-за прекращения промышленного выпуска исходных компонентов, в т.ч. олигоэфиркарборана Д-20. В связи с этим разработанные ранее на основе продукта Д-20 термостойкие клеи ВК-20 горячего отверждения и ВК-20М холодного отверждения для крепления тепло- и звукоизоляционных материалов и для изготовления деталей газогенератора с шумоглушением, выпускаются на основе имеющихся ограниченных запасов этого компонента.

ФГУП «ВИАМ» эта проблема была решена путем разработки термостойких клеев, не содержащих в своем составе олигоэфиркарборан.

Разработан клей ВК-89 горячего отверждения, который в сравнении с аналогом – клеем ВК-20 показывает более высокие прочностные характеристики клеевых соединений при температурах до 400°C в исходном состоянии и после воздействия различных факторов – агрессивных сред, камеры тропического климата (КТК), воды – (при 300–350°C на 15%, при 400°C – на 53%) при сохранении прочностных свойств при 20°C на уровне свойств клея ВК-20. Клей ВК-89 предназначен для склеивания металлов (углеродистых и коррозионностойких сталей) и неметаллических материалов (стеклопластиков типа СК-9ФА, СК-101 и др.) между собой и в различных сочетаниях. Клей ВК-89 рекомендован к эксплуатации в интервале температур от -60°C до +400°C, в т.ч. при температуре 400°C в течение 5 ч.

Разработан клей ВК-91 холодного отверждения, который обеспечивает работоспособность клеевых соединений при температурах до 400°C в исходном состоянии и после воздействия различных факторов (агрессивных

сред, камеры тропического климата, воды) и по сравнению с аналогом, клеем ВК-20М, он обладает повышенной прочностью клеевых соединений.

Клей ВК-91 рекомендуется для склеивания металлов (углеродистых и коррозионностойких сталей и титановых сплавов) и неметаллических материалов (стеклопластиков типа СК-9ФА, СК-101 и др.) и может эксплуатироваться в интервале температур от -60°C до +400°C, в том числе при температуре 400°C в течение 5 ч.

В табл. 5 представлены основные свойства некоторых термостойких клеев.

Таблица 5.

Свойства и назначение термостойких клеев

Марка клея	τ_b , МПа		Интервал рабочих температур, °C	Особые свойства	Назначение
	при 20°C	при повышенной температуре			
ВК-58	14,0	0,5 (500°C)	-60...+500	Не содержит растворителя	Приклеивание тензорезисторов
ВК-26М	20,0	5,0 (300°C)	-60...+350	Одноупаковочный	Склеивание магнитопроводов, монтаж кристаллов
ВК-69	14,0	7,0 (300°C)	-60...+300	Содержит воду взамен органических растворителей	Приклеивание тензорезисторов
ВК-78	12,0	5,0 (400°C)	1100	Не требует специальной подготовки поверхности	Склеивание керамики, приклеивание термодатчиков
ВК-89	16,0	5,0 (400°C)	-60...+400	Стоек к воздействию температуры и агрессивных сред	Приклеивание теплостойких неметаллических материалов, теплоизоляции
ВК-91	10,0	3,5 (400°C)	-60...+400		
ВКП-26Ц	Не контролируется		20...+800		Приклеивание тензорезисторов
ВКП-88Ц	1,5	—	20...+1600	Не выделяет продуктов деструкции	Приклеивание термодатчиков
ТПК-2	2,5	2,5 (400°C)	20...+1000	Экологически чистый. Обеспечивает газонепроницаемость клеевых соединений	В нагревательных конструкциях

Клеи резинотехнического назначения

В «ВИАМ» разработан ассортимент клеев для склеивания невулканизированных резин с металлами в процессе вулканизации и для склеивания вулканизированных резин между собой, с металлами и резинотканевыми материалами в конструкциях всех современных изделий авиационной техники (обрезиненные лопасти, кронштейны, противовесы, арматура мягких баков и т.д.).

Клей ВКР-85 рекомендован для склеивания невулканизированных резин на основе бутадиен-нитрильного, хлоропренового, натурального и бутадиенового каучуков с последующей вулканизацией (взамен клея «Лейконат»). Диапазон рабочих температур от -60 до +130°C.

Взамен клея ВКР-15 разработан клей ВКР-60 для соединения невулканизированных резин на основе каучуков СКН, СКИ, СКС, найрита с металлами в процессе котловой вулканизации. Диапазон рабочих температур от -60 до +100°C.

С целью импортозамещения разработана клеевая система из клея ВКР-90, предназначенного для склеивания с металлами в процессе вулканизации резин на основе СКН, и подслоя, повышающего адгезию клея ВКР-90 к резинам на основе неполярных каучуков (СКИ, СКИ+СКД и др.). Клеевая система обеспечивает прочностные характеристики клеевых резинометаллических соединений на уровне характеристик системы «Хемосил» фирмы «Хенкель» и превышает свойства отечественного аналога – клея ВКР-85, она работоспособна в интервале температур от -50 до +130°C на воздухе и в агрессивных средах. Клеевая композиция не содержит в своем составе дефицитных импортных, дорогостоящих материалов и разработана полностью на отечественном сырье.

Взамен клея ВКР-17 разработан клей холодного отверждения ВКР-61 для склеивания вулканизированных резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков между собой и с резинотканевыми материалами. Прочность клеевых соединений ($\sigma_{\text{рассл.}}$) через 20 мин составляет 0,59 кН/м, через 24 ч –

2,6 кН/м. Клеевые соединения стойки к воздействию различных факторов и сред и работоспособны в интервале температур от -50 до +150°C – длительно и до 200°C кратковременно.

В ФГУП «ВИАМ» разработан клей ВКР-95 холодного отверждения, обеспечивающий прочность клеевых соединений (не менее 4,0 кН/м) после 24 ч отверждения при температуре (23±5)°C. Клей ВКР-95 рекомендован для склеивания вулканизированных резин на основе натурального и бутадиен-нитрильных каучуков и прорезиненных тканей между собой и с металлами (сталью марки 30ХГСА, алюминиевым сплавом Д-16АТ). Клей может эксплуатироваться в интервале температур от -60°C до 100°C в условиях повышенной влажности, так как обладает повышенной влагостойкостью и тропикостойкостью.

Для склеивания резин на основе кремнийорганических каучуков с органическими стеклами (взамен клея К-131-37) и с титановыми сплавами разработан клей холодного отверждения марки ВКР-86, обеспечивающий прочность клеевых соединений ($\sigma_{отсл.}$) ≥ 3,0 кН/м. Клеевые соединения работоспособны в интервале температур от -60 до +100°C.

В табл. 6 представлены свойства клеев резинотехнического назначения.

Таблица 6.

Свойства клеев резинотехнического назначения.
Температура испытания 20°C, через 24 ч после склеивания

Марка клея	Прочность при расслаивании клеевых соединений из резины 3826, кН/м	Прочность при отслаивании клеевых соединений кремнийорганическая резина СИЛ-35 + оргстекло СО-120А, кН/м	Прочность при отрыве клеевых соединений резина 3826 + ст.30ХГСА, МПа	Прочность при отслаивании клеевых соединений резина 3826 + ст.30ХГСА, кН/м
ВКР-61	0,59 (через 20 мин) 2,6	–		
ВКР-86	–	не менее 3,0		
ВКР-60			–	4,0
ВКР-85			3,9	–
ВКР-90			6,8	–
ВКР-95*			2,2	4,0

* Клей холодного отверждения.

Самоклеящиеся материалы

Разработано принципиально новое для отечественной практики самоклеящееся пленочное многослойное листовое покрытие на липкой клеевой основе марки ЗППК (толщина не более 120 мкм), сочетающее защитные и декоративные свойства, работоспособное в интервале температур от -60 до +80°C. Покрытие ЗППК обеспечивает защиту поврежденных участков лакокрасочных покрытий (ЛКП) при ремонте внешней поверхности планера самолета, в том числе в полевых условиях. Материал прошел опробование при эксплуатации ИЛ 96-300 в различных климатических зонах (более 2000 ч). Экологически чистая технология использования ЗППК позволяет снизить трудоемкость ремонтных работ и гарантирует отсутствие токсических веществ.

В настоящее время в связи с востребованностью отечественных самоклеящихся материалов для оперативного ремонта воздушных судов возникла необходимость проведения дополнительных расширенных исследований разработанной ранее алюминиевой фольги с постоянно-липким слоем (ФЛС), работоспособной в интервале температур от -60 до +80°C. Отечественный материал марки «Фольгоплен» аналогичного назначения в настоящее время не производится.

Самоклеящаяся фольга ФЛС обеспечивает стойкость клеевых соединений к воздействию различных факторов и сред. Применение ФЛС для временного ремонта внешней поверхности планера (царапины, сколы, отслоение ЛКП) обеспечивает высокое сопротивление статическому сдвигу, снижение трудоемкости, энергоемкости и экологически чистую технологию ремонтных работ.

Проведены дополнительные исследования, которые позволили расширить области применения самоклеящегося материала (САФ), работоспособного до +150°C, и рекомендовать его для новых оперативных ремонтных технологий поверхностей планера самолета из угле- и стеклопластиков. Применение

САФ для ремонтных целей позволит продлить срок службы изделия между плановыми ремонтами.

Для оперативного ремонта поверхностей сложной кривизны разработан самоклеящийся материал на тканевой основе ВСМТ с улучшенной технологичностью («выкладываемостью») со следующими свойствами: $\tau_{сдв.}=400$ кПа, $\sigma_{отсл}=6,0$ Н/см. В табл. 7 приведены свойства самоклеящихся материалов.

Таблица 7.

Свойства самоклеящихся материалов

Свойства	Марка материала			
	ЗППК	ФЛС	САФ	ВСМТ
Рабочая температура, °С	-60...+60	-60...+80	-60...+150	-60...+80
Прочность при отслаивании, Н/см, не менее	5,0	5,0	6,0	6,0
Прочность при сдвиге, КПа, не менее	300	300	500	400
Статический сдвиг («ползучесть») за 1 ч при $P_{стат.}=0,2$ кг при повышенных температурах, мм	0	0	0	0

Таким образом, разработанные ФГУП «ВИАМ» клеи и клеящие материалы нашли применение в конструкции практически всех изделий авиационной техники и обеспечивают ресурс и эксплуатационную надежность клееных агрегатов.

Список литературы:

1. Петрова А.П., Лукина Н.Ф., Стародубцева О.А., Дементьева Л.А. 50 лет лаборатории «Клеи и клеевые препреги». М.: ВИАМ, 2008, 26 с.
2. Петрова А.П. Клеящие материалы. Справочник. Под ред. чл.-корр. РАН, д-ра техн. наук Е.Н. Каблова и д-ра техн. наук С.В. Резниченко. М.: ЗАО «Редакция журнала «Каучук и резина (К и Р)», 2002, 196 с.
3. Петрова А.П., Донской А.А. Клеящие материалы. Герметики. Справочник. С.-П.: Профessional, 2008, 589 с.