

ОАО «Газпром»
ООО «Газпром трансгаз Югорск»

**О.Е. ВАСИН, В.М. ЮГАЙ, Р.А. САДРТДИНОВ, В.А. ПОДМОГАЕВ,
В.Б. ГЕЙЦАН, Н.К. КАРЕЕВ, А.А. СЕЛИВАНОВ**

Атлас дефектов

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Екатеринбург

2008

О.Е. Васин, В.М. Югай, Р.А. Садртдинов, В.А. Подмогаев, В.Б. Гейцан, Н.К. Кареев, А.А. Селиванов. Атлас дефектов. Научно-технический сборник. Екатеринбург, 2008, 56 с.

Настоящий «Атлас дефектов» предназначен для инженерно-технических работников сварочного производства, специалистов неразрушающего контроля и технической диагностики филиалов ООО «Газпром трансгаз Югорск», занимающихся проблемами эксплуатационной надежности объектов транспорта газа.

В «Атласе дефектов» представлены наиболее характерные и часто встречающиеся дефекты основного металла трубных сталей и сварных соединений трубопроводных систем ООО «Газпром трансгаз Югорск».

Основой для создания «Атласа дефектов» стали результаты анализа металлографических шлифов дефектных фрагментов труб, соединительных деталей, элементов и узлов оборудования компрессорных станций.

Приведенные в «Атласе дефектов» сведения послужат повышению профессионального уровня всех специалистов, интересующихся данной тематикой.

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ МЕТАЛЛА	7
2. МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДЕФЕКТОВ.....	9
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ	11
3.1. Дефекты, образованные при температурно-деформационной обработке металла	11
3.1.1. <i>Расслоение</i>	11
3.1.2. <i>Ликвация</i>	13
3.1.3. <i>Флокены</i>	14
3.1.4. <i>Плена</i>	17
3.1.5. <i>Закат.....</i>	19
3.1.6. <i>Раковины от окалины</i>	20
3.1.7. <i>Волосовины</i>	21
3.1.8. <i>Рябизна.....</i>	22
3.1.9. <i>Чешуйчатость</i>	23
3.1.10. <i>Раковина-вдав</i>	25
3.1.11. <i>Рванины пережога</i>	26
3.1.12. <i>Морицины</i>	28
3.1.13. <i>Поверхностный обезуглероженный слой</i>	29
3.2. Дефекты сварных соединений	30
3.2.1. <i>Холодные трещины</i>	30
3.2.2. <i>Горячие трещины</i>	31
3.2.3. <i>Несплавление (непровар).....</i>	32
3.2.4. <i>Подрез</i>	33
3.2.5. <i>Поры.....</i>	35

3.2.6. Шлаковые включения	36
3.2.7. Прожог	37
3.2.8. Вогнутость корня шва (утяжина)	38
3.2.9. Кратер	38
3.2.10. Свищ	39
3.2.11. Наружное смещение сваренных кромок	39
3.2.12. Перегрев металла	40
3.2.13. Примеры некачественного выполнения сварных соединений	41

4. ДЕФЕКТЫ, ОБРАЗОВАННЫЕ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ, ХРАНЕНИИ И МОНТАЖЕ	43
4.1. Потертость	43
4.2. Царапина (риска)	43
4.3. Забоина	44
4.4. Продир	45
4.5. Вмятина	46

5. ДЕФЕКТЫ, ОБРАЗОВАННЫЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ	47
5.1. Сплошная коррозия	47
5.2. Язвенная коррозия (каверна)	47
5.3. Точечная коррозия (питтинг)	48
5.4. Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН)	49
5.5. Усталостная трещина	51
5.6. Трещина пластической деформации	55
5.7. Эрозионный абразивный износ	55

Предисловие

Представленный в настоящем «Атласе дефектов» материал отражает опыт авторов, накопленный при выполнении фрактографических и металлографических исследований для установления причин отказов участков линейной части магистральных газопроводов и оборудования компрессорных станций, а также результатов проведения входного контроля материалов и испытаний аттестационных и допускных сварных соединений труб и соединительных деталей.

В данной работе приведены результаты анализа металлографических шлифов дефектных фрагментов труб, соединительных деталей, элементов и узлов оборудования компрессорных станций, которые и послужили основой для создания «Атласа дефектов».

На основе обобщения результатов лабораторных металлографических исследований представлены дефекты, образовавшиеся на различных этапах «жизни» металла:

- при производственно-технологических операциях;
- при транспортировке, хранении и монтаже;
- при эксплуатации.

Настоящий «Атлас дефектов» содержит классификацию дефектов металла, способы их выявления и интерпретации, описания типичных дефектов основного металла и сварных соединений.

Исследование авторами топологии некоторых видов дефектов послужило предпосылкой к разработке методических рекомендаций по их идентификации.

В «Атласе дефектов» приведены иллюстрации дефектов поверхности фрагментов труб, соединительных деталей, элементов и узлов оборудования, снимки металлографических шлифов и виды характерных изломов, которые позволяют сопоставлять результаты внешнего осмотра поверхности с данными металлографических исследований.

Некоторые технологические дефекты и морфология изломов описаны согласно определениям нормативных документов (ГОСТов) или в соответствии с положениями справочника-атласа «Дефекты в металлах», составленного под авторством А.А. Ежова, Л.П. Герасимовой.

Настоящий «Атлас дефектов» предназначен для инженерно-технических работников сварочного производства, специалистов неразрушающего контроля и технической диагностики филиалов ООО «Газпром трансгаз Югорск», занимающихся проблемами эксплуатационной надежности объектов транспорта газа, а также всех специалистов, интересующихся данной тематикой.

1. Классификация дефектов металла

Целью проведения оперативного обследования потенциально опасных производственных объектов является обнаружение дефектов в конструкционных материалах, элементах и узлах технологического оборудования КС и линейной части МГ, определение возможных причин их появления, оценка влияния на фактическое текущее состояние или выяснение причин отказов соединительных деталей, конструктивных элементов и узлов оборудования.

Согласно ГОСТу 17102 «дефектом называется каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией».

Дефекты классифицируют по ряду признаков: степени локализации, расположению, ориентации, стадии возникновения и степени опасности.

Влияние дефектов на работоспособность и долговечность конструкции определяется, в большей степени, конструктивными особенностями соединительных деталей, элементов и узлов оборудования, назначением и условиями их использования (эксплуатации).

В соответствии с указанным ГОСТом дефекты в металлах по перечисленным выше признакам подразделяют на следующие группы:

1. По стадии возникновения (своему происхождению):

— производственно-технические (металлургические) дефекты, возникающие при отливке и прокатке;

— производственно-технологические дефекты, возникающие на стадии изготовления, сборки и ремонта деталей (при сварке, наплавке, механической и термической обработках, калибровке и др.);

— эксплуатационные дефекты, возникающие после некоторой наработки изделия вследствие усталости металла деталей, появления дополнительных нерасчетных нагрузок, ударов, вибрации, перепада температур, коррозии, изнашивания, старения и т.д., а также неправильного технологического обслуживания в период эксплуатации.

2. По степени опасности:

— критические, при наличии которых использование продукции по назначению невозможно или исключается из-за несоответствия требованиям безопасности;

— значительные, которые оказывают существенное влияние на использование продукции по назначению и снижают в той или иной степени эксплуатационную надежность и (или) долговечность, но не являются критическими;

— малозначительные, которые не оказывают влияния на использование продукции по назначению, не имеют развития и не оказывают влияния на эксплуатацию и (или) на ее долговечность.

2. Методы выявления и интерпретации дефектов

При анализе технического состояния и оценке остаточного ресурса необходимо иметь данные о начальном (исходном) и текущем (фактическом) состояниях материалов или элементов (узлов) оборудования на момент диагностирования.

При этом к основным контролируемым параметрам относят следующее: нарушение типа несплошностей, отклонение геометрических размеров и физико-механических характеристик (химический состав, твердость, механические свойства и т.д.), изменение эксплуатационных параметров (увеличение НДС, развитие структурных нарушений и т.п.).

Начальное состояние и свойства материалов регламентируются соответствующими стандартами и техническими условиями завода-изготовителя, а также дополнительно проверяются при входном контроле.

Оценку состояния (дефектность) материалов на момент диагностирования, в зависимости от поставленной задачи, проверяют методами как неразрушающего, так и разрушающего контроля.

Однако, если для приведенных в предыдущем разделе первых трех признаков классификации дефектов (степень локализации, расположение и ориентация), выявление параметров производится неразрушающими методами контроля с достаточной степенью достоверности, то для определения последних (стадия возникновения и оценка степени опасности) применение неразрушающего контроля трудно применимо или вообще невозможно.

В некоторых случаях при проведении неразрушающего контроля правильная классификация дефекта вызывает определенные трудности и возможна лишь с применением металлографических исследований.

С целью возможности работать по этому направлению диагностики Инженерно-технический центр ООО «Газпром трансгаз Югорск» был оснащен оборудованием, позволяющим в полной мере проводить подготовку шлифов и выполнять металлографический анализ.

Ввод в эксплуатацию металлографического комплекса позволил проводить структурный анализ металла и интерпретировать дефекты, выявленные методом неразрушающего контроля при проведении оперативных обследований, оценке фактического текущего состояния оборудования и выяснения причин отказов оборудования на потенциально опасных производственных объектах.

Исследование топологии расслоений и ликвационных зон в лабораторных условиях с последующим проведением стендовых гидравлических испытаний послужило предпосылкой к разработке пособия «Методика идентификации расслоений и ликвационных зон в трубных сталях».

Опыт проведения фрактографических исследований при установлении причин отказов участков линейной части магистральных газопроводов и оборудования компрессорных станций, также выполнение металлографического анализа дефектных фрагментов позволил создать набор металлографических образцов, который и стал основой для создания настоящего «Атласа дефектов».

3. Технологические дефекты

3.1. Дефекты, образованные при температурно-деформационной обработке металла

3.1.1. Расслоение

Описание.

Расслоение — дефекты в виде нарушения сплошности (трещины) металла, представляющие собой раскатанные крупные дефекты слитка (глубокие усадочные раковины, усадочную пористость, скопления пузырей или неметаллических включений и т.д.). Расслоения расположены внутри деформированного слитка, а поверхность нарушения сплошности параллельна плоскости прокатки. В некоторых случаях в листах они могут наблюдаться в виде трещин, выходящих на боковые кромки и торцы проката. Дефект выявляется ультразвуковым контролем.

В изломах и на макрошлифах в сечениях проката, расположенных вдоль и поперек направления деформации, расслоения имеют вид трещин, параллельных поверхности деформации, а в сечении, параллельном поверхности деформации, — вид плоских вытянутых участков светло-серого или темного окисленного цвета.

Причины образования.

1. Нарушение технологии выплавки и разливки стали.
2. Повышенная загрязненность металла и недостаточная защита его от вторичного окисления.
3. Несоблюдение температурно-временных параметров разливки стали с учетом режимов охлаждения, скорости качания кристаллизатора, а также режима вторичного охлаждения и скорости вытягивания слитка из кристаллизатора.
4. Отклонения в режиме температурно-деформационной обработки слитка и в режиме его прокатки.

Способы предупреждения:

- соблюдение технологии рафинирования, раскисления и модифицирования жидкой стали, а также обеспечение защиты струи и зеркала металла при разливке;
- контроль подготовки и сборки промежуточной емкости и кристаллизатора;
- соблюдение режима охлаждения и скорости качания слитка, а также режима вторичного охлаждения и скорости вытягивания слитка из кристаллизатора;
- уточнение режимов температурно-деформационной обработки слитка.

Способы устранения.

Расслоения в готовой металлопродукции не устраняются.

Влияние на свойства.

Возможно, снижение механических свойств металла пропорционально площади дефекта.



Общий вид торца трубы с раскрывшимся расслоением



Фрагмент разрушенного участка трубы лупинга газопровода Иgrim—Серов Пунгинского ЛПУ км 2,2 с наличием в изломе расслоений металла по толщине стенки



Микрошлиф с расслоением металла

3.1.2. Ликвация

Описание.

Ликвация — дефект, проявляющийся в виде скопления вредных примесей и неравномерности химических элементов или соединений в объеме металла, возникающий в результате избирательной кристаллизации при затвердевании.

Причины образования.

1. Нарушение технологии выплавки и разливки стали.
2. Нарушение теплового режима при разливке стали.
3. Отсутствие защиты жидкой ванны.
4. Отклонения в режиме кристаллизации стали.

Способы предупреждения:

- уточнение технологии раскисления и модифицирования стали;
- соблюдение температурно-временных параметров разливки стали;
- соблюдение режимов охлаждения и скорости качения кристаллизатора;
- организация защиты струи и зеркала металла при разливке стали;

Способы устранения.

Ликвация в готовой металлопродукции не устраняется.

Влияние на свойства.

Структура внутренних металлургических дефектов типа ликвационных зон в трубных сталях характеризуется повышенным содержанием перлита и неметаллических включений типа сульфидов и сульфосиликатов, которые при воздействии значительных нагрузок (превышающих предел текучести) могут способствовать появлению дефектов несплошности металла — расслоений и трещин, которые, в свою очередь, могут снижать механические свойства пропорционально площади дефекта.



Микроструктура металла трубной стали с ликвационными зонами (полосами)



Микроструктура металла трубной стали в ликвационных зонах которой наблюдаются микротрещины, образованные при температурно-деформационной обработке

3.1.3. Флокены

Описание.

Флокены — дефекты в виде внутренних разрывов (трещин) в металлопродукции (прокат, поковки), образующиеся в результате водородного охрупчивания металла (большой частью внутризеренного). Размер и поверхность флокенов зависят от марок стали, их газонасыщенности и загрязненности.

При совпадении поверхности разрушения с плоскостью трещины флокены имеют вид четко очерченных участков круглой или овальной формы серебристого матового или блестящего цвета. Цвет флокенов зависит от состава стали и режима термической обработки. Строение поверхности флокенов зависит от размеров первичного аустенитного зерна и может быть грубо- или мелкокристаллическим. На поверхности разрушения (в изломе), перпендикулярной плоскости разрушения, флокены имеют вид очень тонких волосовидных трещин. На макрошлифах в этой же плоскости флокены имеют вид коротких зигзагообразных тонких трещин.

Флокены образуются в деформированной стали и чаще всего в массивной зоне металлоизделия. В литой стали флокены имеют вид «светлых пятен».

В металлопрокате плоскость флокенов чаще всего ориентирована параллельно плоскости прокатки. В ковном металле их расположение с направлени-

ем деформации связано в меньшей степени. Флокены наблюдаются и свойственны, в основном, легированным маркам стали.

Причины образования.

1. Грубые нарушения заданных технологических параметров выплавки и разливки жидкой стали, а также повышенная загрязненность и газонасыщенность металла.

2. Недостаточная защита стали при разливке.

3. Нарушения технологии температурно-деформационной обработки слитка.

4. На процесс образования флокенов влияют, главным образом, следующие факторы:

— повышенное содержание водорода (чем больше степень газонасыщенности, тем выше флокеночувствительность стали);

— повышенное содержание элементов, увеличивающих растворимость водорода в жидкой стали, и не образующих с водородом соединений или образующих нестойкие соединения (молибден, никель, вольфрам, марганец, кобальт);

— повышенное содержание неметаллических включений, особенно вытянутых или пленочных сульфидов и оксисульфидов;

— наличие границ раздела металл-неметаллические включения, которые являются своеобразными линзами-барьерами на пути диффузии атомарного водорода и накопителями молекулярного водорода. На этих участках давление газов может достигать 200—400 МПа, что создает условия для водородного охрупчивания металла, которые при наличии внутренних напряжений завершаются образованием флокенов;

— повышенное содержание легирующих элементов, понижающих температуру превращения аустенита при охлаждении (углерод, молибден, никель, кремний, вольфрам, бор, хром, марганец), что приводит к образованию низкотемпературных продуктов превращения аустенита (мартенсит, нижний бейнит), в которых скорость диффузии водорода очень мала;

— различные виды деформации, оказывающие влияние на ход диффузионных и препятствующих диффузии (окклюзионных) процессов. Увеличение внутренних напряжений повышает окклюзионную способность микрообъемов металла; (так, при напряжениях, равных $0,3—0,6 \sigma_{0,2}$, резко сокращается время образования флокенов при повышенном содержании в металле водорода).

Способы предупреждения:

— соблюдение технологии рафинирования, раскисления и модифицирования жидкой стали (для отдельных марок стали применяют внепечную вакуум-шлаковую обработку металла), обеспечивающей минимальное содержание водорода (менее 2 см^3 в 100 г металла) и низкое содержание серы, фосфора и растворенного кислорода;

— контроль всего процесса подготовки, смазки и сборки промежуточной емкости и кристаллизатора;

— уточнение режимов охлаждения и скорости качания кристаллизатора, а также режима вторичного охлаждения и скорости вытягивания слитка из кристаллизатора;

— организация защиты струи и зеркала металла при разливке стали, а также достаточной просушки промежуточной емкости перед началом разливки;

— соблюдение температурно-временных параметров разливки и кристаллизации стали;

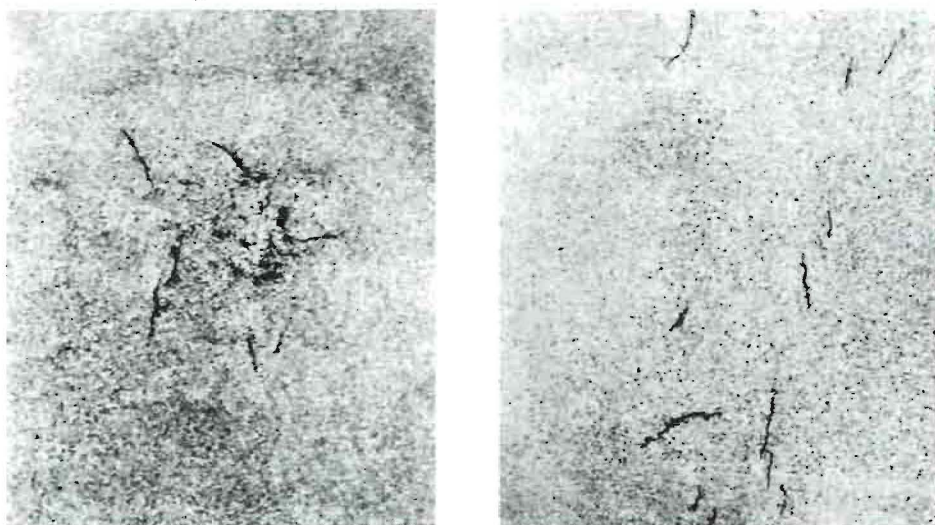
— уточнение температурно-временных режимов охлаждения, выдержки и нагрева слитка под температурно-деформационную обработку;

— соблюдение технологии прокатки (ковки) и охлаждения металлопродукции после деформационной обработки слитка.

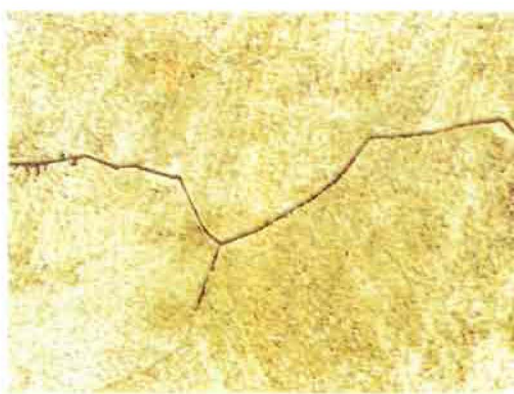
Способы устранения.

В готовой металлопродукции (прокат, поковки) дефект не исправляется, и продукция бракуется. В литых изделиях флокены могут быть зачищены и заварены, если это допускается техническими условиями.

Присутствие флокенов снижает механические свойства металла пропорционально площади дефектов. Особенно резкое снижение свойств при наличии флокенов в металле наблюдается в сварных соединениях, так как флокены способствуют появлению трещин в околошовной зоне.



Макрошлиф с флокенами



Микроструктура металла с развитием флокена по границам зерен

3.1.4. Плена

Описание.

Плена — дефект поверхности, представляющий собой сравнительно тонкие плоские металлические отслоения языкообразной или округлой формы деформированного металла (прокат, поковка), частично приваренные к основному металлу. Размеры плены могут быть различными: от еле заметных чешуек до 100 мм и более по длине и по ширине (особенно на толстых листах). В некоторых случаях в зоне приварки плены наблюдается обезуглероженный слой металла с повышенным содержанием неметаллических включений.

Причины образования.

1. Отклонения технологии выплавки и разливки стали.
2. Нарушения охлаждения, скорости качания и смазки кристаллизатора.
3. Неудовлетворительная зачистка и зашлифовка поверхности металла перед нагревом слитка под прокатку.
4. Среди основных факторов, влияющих на образование плены при прокатке, можно выделить следующие:
 - плены на поверхности слитка;
 - скопления сотовых пузырьков в подкорковой зоне слитка и последующее их вскрытие в процессе горячей деформации;
 - неудовлетворительная калибровка валков и дефектная форма кромок слитка (подката);
 - наличие рванин и трещин на поверхности слитка.



Плена на поверхности трубы



Макрошлиф с пленой

Способы предупреждения:

- соблюдение технологии рафинирования, раскисления и модифицирования жидкой стали, а также технологии разливки и защиты струи и зеркала металла при разливке стали;
- контроль за подготовкой, смазкой и сборкой кристаллизатора, режимом охлаждения и скоростью качания кристаллизатора;
- соблюдение требований по чистоте поверхности слитка (поковки) перед нагревом и деформационной обработкой.

Способы устранения.

Дефект не исправляется, и прокат (поковка) бракуется. Плены могут быть удалены с поверхности деформированного металла путем строжки или зашлифовкой поверхности при плюсовых допусках по толщине.

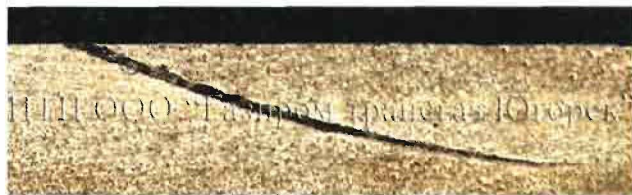
3.1.5. Закат

Описание.

Закат — дефект в виде нарушения сплошности поверхности в направлении прокатки. На бесшовной трубе располагается с одной или двух диаметрально противоположных сторон по всей длине или на значительной части поверхности. Закат, образовавшийся от заусенца, похож на продольную трещину, а от возвышения — на плену с криволинейным не замкнутым контуром.



***Вид поверхности трубы с закатами
после частичной вышлифовки***



***Микроструктура металла трубы
с закатом***

Причины образования.

Образуется путем вдавливания и закатывания уса, подреза, острого угла, заусениц или возвышений на поверхности, получившихся при предыдущем пропуске слитка через калибр прокатного стана. При этом металл не сваривается с основной массой проката.

Способы предупреждения.

Соблюдение технологии температурно-деформационной обработки слитка.

Влияние на свойства.

Изменений в микроструктуре нет, либо наблюдается обезуглероживание.

3.1.6. Раковины от окалины

Описание.

Раковины от окалины — дефекты, образованные на поверхности проката при взаимодействии с окалиной, — беспорядочно расположенные отдельные углубления на поверхности металла, иногда вытянутые вдоль направления деформации.

Углубления частично или полностью покрыты приваренной окалиной и могут быть обнаружены визуально только после ее удаления дробеструйной (пескоструйной) обработкой или травлением.

Причины образования:

- нарушение технологии подготовки поверхности слитка к температурно-деформационной обработке;
- отклонения в окислительно-восстановительном режиме нагрева металла перед деформационной обработкой слитка;
- нарушение температурно-временных параметров нагрева слитка перед прокаткой;
- несоблюдение режима прокатки (ковки) и охлаждения металла в процессе деформации.

Способы предупреждения:

- соблюдение технологии подготовки поверхности слитка к температурно-деформационной обработке;
- проверка окислительного потенциала и соблюдение окислительно-восстановительного режима нагревательной печи, а также заданной направленности факела горелки по отношению к поверхности нагреваемого слитка;
- соблюдение температурно-временных параметров нагрева металла и прокатки слитка, а также принятие дополнительных мер (для отдельных марок стали) по защите или своевременному удалению образующейся окалины в процессе прокатки.

Способы устранения.

Дефекты могут устраняться зашлифовкой при условии допустимости этой операции техническими условиями, в противном случае металлопродукция бракуется.

Влияние на свойства.

Как правило, дефект не влияет на свойства проката, но ухудшает внешний вид поверхности металлопродукции.

3.1.7. Волосовины

Описание.

Волосовины — дефекты в виде волосовидных нитевидных несплошностей в металле, расположенных вдоль направления деформации и наблюдаемых в форме прерывистых или сплошных нитевидных поверхностных трещин. Внутренние волосовины выявляются методами неразрушающего контроля или визуально при металлографическом анализе на макрошлифах. Контроль на наличие внутренних волосовин может производиться с применением ступенчатой строжки, после которой они наблюдаются визуально.

Причины образования.

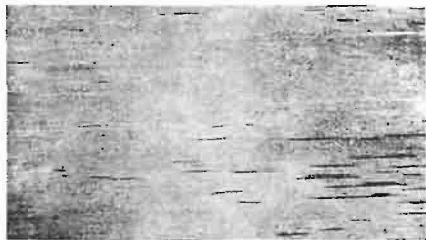
Волосовины в деформированном металле являются следствием нарушений технологии выплавки и разливки стали (разливка стали с повышенной загрязненностью и газонасыщенностью металла) и нарушением технологии температурно-деформационной обработки слитка.

Способы предупреждения:

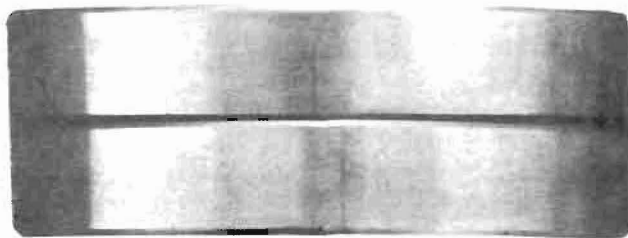
- уточнение технологии раскисления и модифицирования, включая технологию внепечной вакуум-шлаковой обработки жидкой стали;
- соблюдение технологии охлаждения и скорости качания кристаллизатора, режима вторичного охлаждения, скорости вытягивания слитка;
- защита струи и зеркала металла при разливке стали;
- соблюдение технологии нагрева и температурно-деформационных параметров прокатки и охлаждения проката (поковки).

Способы устранения.

Поверхностные волосовины могут быть устранены механической строжкой (фрезерованием) и зашлифовкой. Внутренние волосовины не устраняются, и металл бракуется.



*Вид поверхности проката
с волосовинами*



Вид поверхности макрошлифа

3.1.8. Рябизна

Описание.

Рябизна — дефект в виде мелких углублений (шероховатости) на поверхности проката, выявляемые после удаления окалины. Дефект может занимать значительную поверхность, располагаясь преимущественно отдельными участками вдоль направления деформации.

Наиболее часто рябизна встречается на тонких листах кровельного железа и жести. Степень шероховатости при рябизне может быть различной: от самой незначительной, при которой углубления располагаются практически друг возле друга, до значительной шероховатости, углубления при которой по ширине или длине могут располагаться на расстоянии нескольких миллиметров, а по глубине — от сотых долей до 0,5—1 мм.

Причины образования:

- несоблюдение технологии подготовки, смазки и сборки кристаллизатора, нарушение режима нагрева и скорости качания кристаллизатора;
- несоблюдение технологии подготовки и температурно-деформационной обработки слитка;
- неудовлетворительная подготовка поверхности валков, ведущая к образованию рябизны;
- пониженная твердость поверхности валков, при которой они в процессе

работы приобретают неровную (шероховатую) поверхность; несвоевременная смена валков с изношенной поверхностью; сильный разогрев валков в процессе работы, который вызывает понижение твердости закаленной поверхности валков и их повышенное изнашивание; большое давление при прокатке (особенно при прокатке тонких листов пакетами), в связи с образованием на валках наростов за счет привариваемых частиц деформируемого металла.

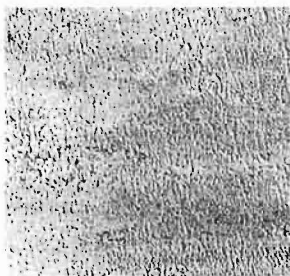
Способы предупреждения:

- соблюдение технологии разливки и кристаллизации, обеспечивающей заданные требования по чистоте и плоскостности поверхности слитка;
- строгое соблюдение технологии нагрева металла перед прокаткой (ковкой) с обеспечением условий наименьшего окисления металла; предохранения поверхности слитка от загрязнения огнеупорами из кладки печи; удаления загрязнений с поверхности слитка перед загрузкой в нагревательную печь; периодической очистки нагреваемого слитка от окалины;
- соблюдение технологии прокатки, в том числе, подготовка поверхности валков.

Влияние на свойства.

Дефект не снижает механические свойства металла, но ухудшается внешний вид изделия.

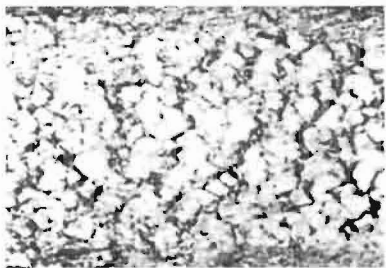
Вид поверхности металла



Мелкая рябизна



Средняя рябизна



Грубая рябизна

3.1.9. Чешуйчатость

Описание.

Чешуйчатость — дефект в виде сильно разветвленных мелких отслоений и надрывов металла, расположенных сотообразно на поверхности проката (поко-

вок), то есть поверхность деформированного металла как бы покрыта металлическими чешуйками.

Дефект может быть ограничен отдельными участками или располагаться по всей поверхности. На поверхности металлопроката чешуйки, как правило, имеют языкообразную форму и по этому признаку отличаются от сетки горячих трещин.

На микрошлифах из дефектных зон металла видно, что микротрещины располагаются по границам зерен и часто сопровождаются повышенным содержанием неметаллических включений и ликватов.

Чаще всего чешуйчатость встречается у низко- или среднеуглеродистых конструкционных сталей, в том числе, у легированных и медьсодержащих сталей.

Причины образования:

- отклонения технологии выплавки и разливки стали;
- нарушение технологии подготовки кристаллизатора и режимов кристаллизации, в том числе, защиты струи и зеркала металла от вторичного окисления;
- нарушение окислительно-восстановительного режима нагрева слитка перед деформацией, связанного с нарушением режима работы нагревательных агрегатов из-за плохой организации горения (факелов); неэффективного соотношения в газовой смеси (соотношения газ—воздух); слишком высокой температуры нагрева или чрезмерно длительной продолжительности и использования газа (мазута) с высоким содержанием серы.

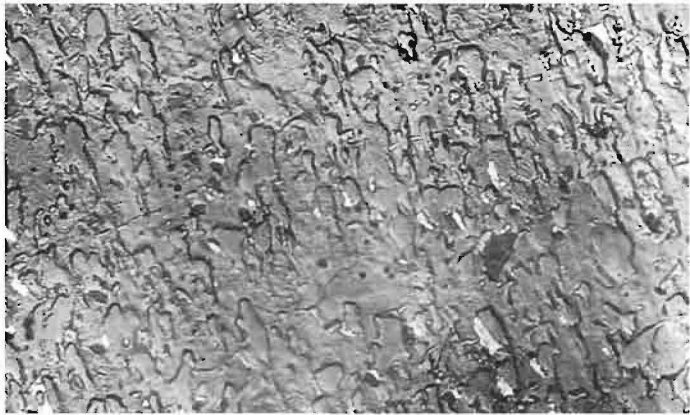
Способы предупреждения:

- соблюдение технологии раскисления и модифицирования жидкой стали, технологии охлаждения и скорости качания кристаллизатора;
- защита струи и зеркала металла при разливке жидкой стали;
- создание оптимальных, в зависимости от химического состава и размеров слитка (проката, поковок), температурно-временных параметров нагрева и охлаждения металла, теплового и окислительно-восстановительного потенциала газовой атмосферы нагревательного агрегата;
- уточнение (соблюдение) технологии прокатки и охлаждения деформиро-

ванного металла, в том числе, контроль состояния поверхности слитка (проката) и прокатных валков.

Способы устранения.

Дефект практически не исправляется, и металл бракуется. В зависимости от глубины распространения дефекта, площади повреждения и назначения металла, согласно техническим условиям, дефект может быть устранен лишь частично в пределах заданных допусков. Поверхность отдельных участков металла, пораженных чешуйчатостью, удаляется строжкой, фрезеровкой или зачисткой.



Вид поверхности металла с чешуйчатостью

Влияние на свойства.

Уровень механических свойств металла практически остается неизменным. Выбраковка металла определяется требованиями по чистоте поверхности и допускам по размерам металлопродукции в соответствии с ТУ.

3.1.10. Раковина-вдав

Описание.

Раковина-вдав — дефект в виде местных впадин (углублений) различной величины и формы, образованных в результате прокатки. Наблюдается визуально.

Причины образования:

- несоблюдение технологии подготовки поверхности слитка (поковки) к нагреву перед деформационной обработкой;
- несоблюдение необходимых технологических операций при нагреве и деформационной обработке слитка (поковок).



Вид поверхности металла с раковиной (вдавом)

Способы предупреждения:

- контроль состояния поверхности слитков (поковок) перед нагревом и деформационной обработкой;
- соблюдение технологических операций при нагреве и прокатке металла;
- соблюдение требований по чистоте поверхности металла (недопущение инородных предметов) при деформации и по чистоте прокатных валков (штампов).

Способы устранения.

Возможность устранения дефектов определяется техническими условиями. При этом устранение дефектов возможно строжкой, шлифовкой или зачисткой.

Влияние на свойства.

Дефект, как правило, не влияет на свойства готовой металлопродукции, но ухудшает внешний вид ее поверхности. Допустимость дефекта определяется техническими условиями.

3.1.11. Рванины пережога

Описание.

Рванины пережога — дефект поверхности, представляющий собой раскрытые разрывы (трещины) в металле, как правило, по границам окисленных кристаллов или по скоплениям неметаллических включений, ориентированные поперек или под углом к направлению деформации.

Наиболее часто рванины пережога образуются на углах, кромках и торцах деформированных слитков (поковок).

Дефект может иметь локальный характер, при этом остальная часть металла остается неповрежденной.

Причины образования:

— нарушение технологии подготовки поверхности и нагрева слитка (поковки) перед деформационной обработкой, нарушение режимов температурно-деформационной обработки металла;

— отклонения по температуре и окислительно-восстановительному режиму газовой атмосферы нагревательной системы;

— несоблюдение технологии охлаждения металла после температурно-деформационной обработки.



Общий вид изделий с рваниной пережога

Способы предупреждения:

— контроль подготовки поверхности слитка (поковки) перед температурно-деформационной обработкой;

— соблюдение температурно-временного режима нагрева металла и заданного окислительно-восстановительного режима газовой атмосферы нагревательной системы;

— контроль технологии прокатки (ковки) и охлаждения деформируемого металла.

Способы исправления.

Дефект не исправляется. При отсутствии возможности переназначения полуфабрикатов с удалением дефекта, металл бракуется.

3.1.12. Морщины

Описание.

Морщины — дефект поверхности металла в виде группы чередующихся продольных выступов и углублений, расположенных, как правило, по всей длине проката.

На листах морщины преимущественно наблюдаются на кромках, на сортовом прокате — на поверхности вдоль направления деформации. В некоторых случаях морщины могут иметь вид прикатанных складок. Глубина дефекта небольшая и обычно не превышает одного миллиметра.

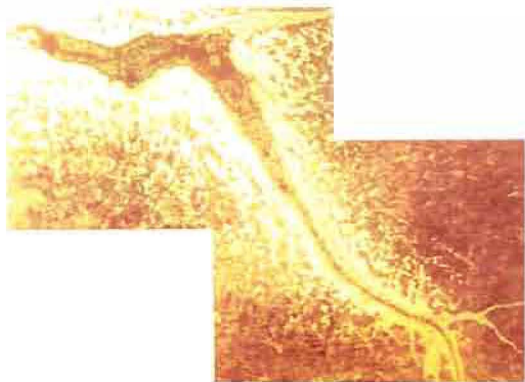
На поперечных микрошлифах морщины имеют вид пластинок с гладкими стенками и тупыми концами. Пустоты заполнены окалиной.

Причины образования:

- нарушение технологии прокатки иликовки;
- нарушение технологии подготовки поверхности слитка (поковки) и режимов нагрева и охлаждения металла.



Вид поверхности металла с морщиной



Микроструктура металла с морщиной

Способы предупреждения:

- соблюдение технологии прокатки иковки металла, обеспечивающей его равномерную деформацию и необходимую степень обжатия;
- соблюдение технологии подготовки поверхности и нагрева металла, режимов температурно-деформационной обработки;
- контроль за формой и степенью выработки валков (калибров).

Способы устранения.

Дефект устраняется механической обработкой металлопродукции. Механические свойства металла не изменяются.

3.1.13. Поверхностный обезуглероженный слой

Описание.

Поверхностный обезуглероженный слой — дефект представляет собой поверхностный слой с пониженным содержанием углерода в сравнении с основным металлом.

Данный дефект визуально не выявляется. На поперечных микрошлифах дефект выглядит как светлая полоса шириной от сотых долей до нескольких миллиметров. Микротвердость поверхностного обезуглероженного слоя пониженная.

Различают два слоя поверхностного обезуглероживания:

— слой полного обезуглероживания металла, наружный слой;

— слой частичного обезуглероживания металла, переходный слой между зоной полного обезуглероживания и основным металлом.

Структура слоя полного обезуглероживания представляет собой чистый феррит. Структура слоя частичного обезуглероживания характеризуется постепенно уменьшающейся долей феррита в направлении основного металла.

На изломе обезуглероженный слой практически не выявляется.

Причины образования:

— несоблюдение режимов нагрева металла и температурно-деформационной обработки слитка (поковки);

— нарушение окислительно-восстановительного потенциала газовой атмосферы нагревательных систем.

Способы предупреждения.

Соблюдение температурно-временного режима нагрева металла и заданного окислительно-восстановительного режима газовой атмосферы нагревательной системы.

Способы устранения.

Обезуглероженный слой может быть удален механической обработкой при соблюдении требований технических условий.

Влияние на свойства.

После удаления обезуглероженного слоя механические свойства металла остаются без изменений.

3.2. Дефекты сварных соединений

Надежность эксплуатации сварных соединений зависит от их соответствия требованиям нормативной документации, которая регламентирует конструктивные размеры и форму готовых сварных швов, прочность, пластичность и другие свойства сварных соединений. Возможные отступления (несоответствия требованиям, установленным нормативной документацией, которые и называются дефектами) от заданных размеров, формы и свойств сварных соединений в процессе эксплуатации могут привести к разрушению сварного шва.

В настоящей главе приведены основные типы наружных и внутренних дефектов сварных соединений.

3.2.1. Холодные трещины

Описание.

Холодные трещины — дефект в виде локального хрупкого межкристаллитного разрушения металла сварного соединения, часто встречающийся в соединениях из углеродистых и легированных сталей, если при сварке они претерпевают частичную или полную закалку. Трещины образуются после окончания сварки в процессе охлаждения ниже температуры $150 \div 100$ °С или в течение последующих суток. Они могут возникать во всех зонах сварного соединения и располагаться параллельно или перпендикулярно оси шва. Место образования и направление трещин зависит от состава шва и основного металла, соотношения компонентов сварочных напряжений и других причин. Разрушение не сопровождается заметной пластической деформацией и наблюдается как практически хрупкое.

Причины образования.

Основные факторы, обуславливающие образование холодных трещин, следующие:

- структурное состояние металла сварного соединения, характеризующееся наличием составляющих мартенситного и бейнитного типов;
- высокий уровень растягивающих сварочных напряжений I рода (образование новых фаз при охлаждении сварного шва);
- высокая концентрация диффузионного водорода в зоне зарождения трещины.

Способы предупреждения.

Для предотвращения образования холодных трещин устраняют отрицательное действие основных факторов, обуславливающих их образование, путем:

- регулирования структуры металла сварных соединений;
- уменьшения уровня сварочных напряжений (предварительный, сопутствующий подогрев и термообработка сварного соединения);
- снижения концентрации диффузионного водорода в шве (прокалки электродов).

Способы устранения.

При образовании холодной трещины дефект устраняется ремонтом сварного соединения. Исправление — подварка с предварительной разделкой и/или зашверловкой концов трещины.

3.2.2. Горячие трещины

Описание.

Горячие трещины — локальное хрупкое межкристаллитное разрушение сварного шва или околошовной зоны, возникающее в области температурного интервала хрупкости в результате термомодеформационного сварочного цикла. Горячие трещины возникают в сплавах, обладающих выраженным крупнокрис-

таллическим строением, с повышенной локальной концентрацией хрупких фаз.

В изломе они имеют темный цвет и сильно окислены.

Причины образования.

Горячие трещины возникают в том случае, если интенсивность нарастания деформаций в металле сварного соединения в период остывания приводит к деформациям большим, чем его пластичность в данных температурных условиях. Преимущественно зарождение горячих трещин происходит в местах ослабленных включениями и нарушением границ кристаллов. Чаще всего, это участки, прилегающие к зоне сплавления, и поперечные границы зерен в центре шва.

Способы предупреждения.

Для предотвращения образования горячих трещин применяют способы повышения технологической прочности металла шва (изменение характера структуры при кристаллизации):

- изменение химического состава наплавляемого металла;
- снижение содержания в сварном шве вредных примесей;
- выбор оптимального режима сварки;
- применение рационального порядка наложения сварочных швов (валиков).

Способы устранения.

При образовании горячей трещины дефект устраняется ремонтом сварного соединения. Исправление — подварка с предварительной разделкой и/или зашверловкой концов трещины.

3.2.3. Несплавление (непровар)

Описание.

Несплавление (непровар) — дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок между основным и наплавленным металлом в корне шва, а также между отдельными слоями (проходами) при многопроходной сварке.

Причины образования:

- малая погонная энергия;
- неудовлетворительная подготовка поверхностей;
- неправильная форма разделки (уменьшенный угол скоса кромок);
- большая величина притупления;
- малые зазоры;
- смещение электрода;
- некачественная зачистка шва после выполнения прохода (непровар между слоями).

Способы предупреждения.

Соблюдение технологии сборки и сварки сварного соединения.

Способы устранения.

Устраняется путем удаления дефекта с последующим ремонтом сваркой.



Непровары корня шва сварного соединения труб



Несплавление корня шва, разрушенного сварного соединения разнотолщинных труб выходного шлейфа КЦ-5 Надымского ЛПУ МГ, выполненного с нарушением регламентированного зазора и без внутренней подварки

3.2.4. Подрез

Описание.

Подрез — дефект в виде местного уменьшения толщины (углубления) основного металла, располагающийся по линии сплавления сварного шва. Подрезы относятся к наиболее часто встречающимся наружным дефектам.

Причины образования.

При сварке угловых швов подрез образуется в результате более глубокого проплавления одной из кромок и стекания расплавленного металла на горизонтально расположенную деталь с образованием канавки. Причинами появления дефекта при сварке угловых швов являются:

- большой ток сварки;
- длинная дуга, создающая избыточное давление на границе твердый металл—жидкая ванна;
- наклон электрода (неправильное ведение).

Причинами появления двусторонних подрезов в стыковых швах являются:

- большая скорость сварки;
- длинная дуга, создающая избыточное давление на границе твердый металл—жидкая ванна;
- увеличение угла разделки при автоматической сварке.

Причинами появления односторонних подрезов в стыковых сварных швах являются:

- смещение электрода с оси симметрии стыка;
- неправильное ведение электрода, особенно при сварке в горизонтальном и вертикальном положениях.

Способы предупреждения:

- выбор оптимального режима сварки;
- соблюдение технологии сварки.



Вид сварного соединения с подрезом

3.2.5. Поры

Описание.

Поры — дефект представляет собой полости, заполненные газом. Обычно поры имеют сферическую форму. Поры могут располагаться в любом месте сечения шва по одиночке, группами или цепочкой (в линию). В зависимости от распределения они классифицируются как сферические поры, удлиненные поры (канальная и червячная), цепочка пор и скопление пор.



Сферичная пора в изломе



Червячные поры в разрушенном сварном соединении г/п Ямбург—Западная граница СССР км 653 Верхнеказымского ЛПУ МГ



Скопление сферических пор

Причины образования.

Поры возникают при кристаллизации металла и выделения из пересыщенного расплава газов. К основным причинам, вызывающим появление пор (за исключением одиночных, появление которых вызвано действием случайных факторов) являются:

- плохая очистка свариваемых кромок от ржавчины, масел и различных загрязнений;
- повышенное содержание углерода в основном и присадочном материалах;
- большая скорость сварки, при которой не успевает пройти газовыделение;
- большая влажность электродных покрытий, флюса;
- подсос воздуха со стороны корня шва;
- нарушение микроклимата в зоне сварки.

Способы предупреждения:

- качественная подготовка сварного соединения;
- выбор оптимальных режимов сварки (снижение скорости сварки, уменьшение теплоотвода в основной металл, уменьшение напряжения дуги);
- увеличение объема сварочной ванны;
- повышение коэффициента формы шва.

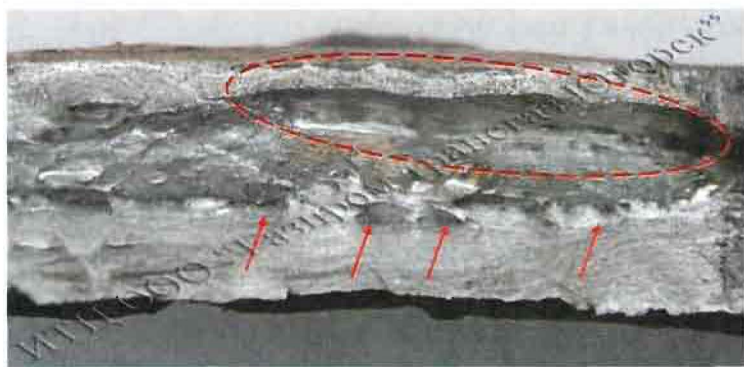
Способы устранения.

Устраняется путем удаления дефекта с последующим ремонтом сваркой.

3.2.6. Шлаковые включения

Описание.

Шлаковые включения — полости (вкрапления) в металле сварного шва, заполненные неметаллическими веществами (шлаками, окислами), не успевающими всплыть на поверхность шва при кристаллизации. Форма может быть самой различной — от сферической до плоской или вытянутой в виде пленки, разделяющей объемы наплавленного металла. Размеры шлаковых включений могут достигать нескольких миллиметров в поперечном сечении и более десятков миллиметров по протяженности.



Вид поверхности излома со шлаковыми включениями в сварном шве

Причины образования:

- большая скорость сварки;
- плохая очистка свариваемых кромок;
- неполная очистка от шлака между слоями.

Способы предупреждения:

- снижение скорости сварки;
- полная зачистка шва после выполнения прохода.

3.2.7. Прожог

Описание.

Прожог — дефект сварки, образовавшийся в результате вытекания расплавленного металла сварочной ванны через сквозное отверстие сварного шва с образованием полости.

Причины образования:

- большая сила тока;
- увеличение зазора между свариваемыми кромками;
- недостаточная толщина подкладной полосы или ее неплотное прилегание;
- смещение электрода от зенита в сторону вращения изделия при сварке поворотных кольцевых швов.

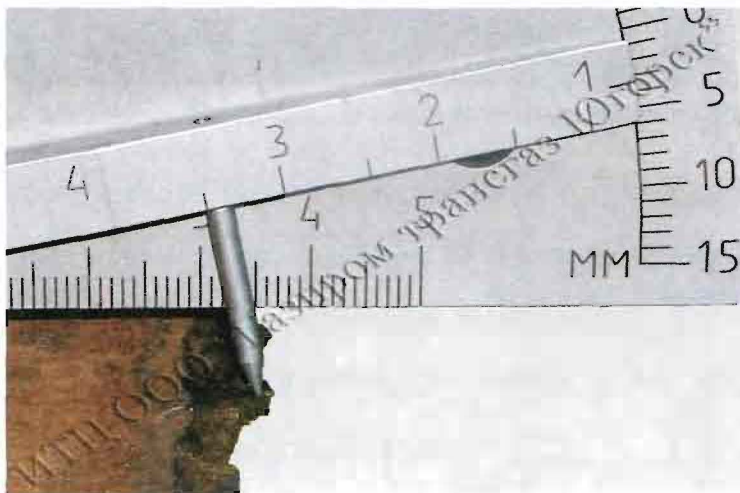
Способы предупреждения:

- уменьшение тока сварки;
- соблюдение технологии сборки сварного соединения перед сваркой.

3.2.8. Вогнутость корня шва (утяжина)

Описание.

Вогнутость корня шва (утяжина) — дефект в виде углубления на обратной поверхности сварного одностороннего шва.



Утяжина в разрушенном кольцевом сварном соединении труб, выполненном ручной дуговой сваркой

Причины образования:

- большие зазоры;
- малое притупление свариваемых кромок.

Способы предупреждения.

Соблюдение технологии подготовки кромок и сборки сварного соединения.

3.2.9. Кратер

Описание.

Кратер — дефект сварных швов в виде углубления, остающегося в месте обрыва дуги. Усадочная рыхлота в кратере часто служит очагом образования трещин.

Причины образования.

Несоблюдение техники сварки.

Способы предупреждения.

Соблюдение техники сварки.

Способы устранения.

Удаление (вышлифовка) дефектного участка и заварка.

3.2.10. Свищ

Описание.

Свищ — дефект в виде несквозного (воронкообразного) углубления в сварном шве. Сопровождается порами и трещинами, выходящими на поверхность.

Причины образования:

- некачественный основной металл;
- нарушение защиты шва.

Способы предупреждения.

Контроль качества сварочных материалов и основного металла.



Свищ в основном металле трубы, развившийся от внутренних напряжений, вызванных заваркой технологического отверстия

3.2.11. Наружное смещение сваренных кромок

Описание.

Наружное смещение сваренных кромок — дефект в виде несовпадения внутренних и (или) наружных поверхностей свариваемых деталей из-за некачественной сборки стыкового сварного соединения.

Причины образования.

Нарушение технологии сборки.

Способы предупреждения.

Соблюдение технологии сборки сварного соединения.



Разрушенный сварной шов, выполненный контактной стыковой сваркой с недопустимым смещением на участке газопровода Приозерного ЛПУ МГ



Вид поверхности излома с несплавлением металла шва, выполненного контактной стыковой сваркой, в месте смещения (образование пористого металла изнутри трубы и оксидная пленка в сварном шве)

3.2.12. Перегрев металла

Описание.

Перегрев металла — дефект микроструктуры металла сварного соединения и зоны термического влияния. Перегретый металл после охлаждения характеризуется крупнозернистой структурой с резкими прямолинейными границами между структурными составляющими, пониженной ударной вязкостью. Склонность сталей к перегреву зависит от их химического состава и существенно по-

нижается в случае присадки небольших количеств ванадия, титана, алюминия, бора.

Причины образования.

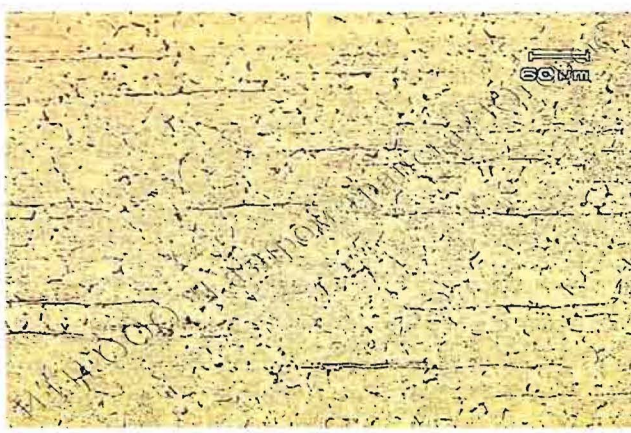
Поддержание нагрева металла до высоких температур (1000÷1300 °С) при чрезмерной длительности.

Способы предупреждения.

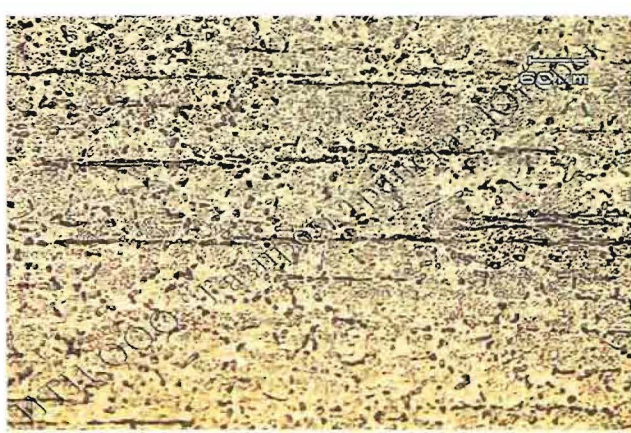
Соблюдение технологии сварки (особенно в части тепловложений в свариваемые детали).

Способы устранения.

Во многих случаях перегрев может быть устранен повторным нагревом обычно на 20—30 °С выше температуры перекристаллизации, в результате чего происходит измельчение зерна структуры металла. Для некоторых металлов (стали аустенитного и ферритного классов), не подверженных перекристаллизации, перегрев не устраняется повторной термической обработкой и поэтому приводит к браку.



Микроструктура листовой стали марки 20X23N18 после проката (аустенитная матрица+карбидные включения)



Микроструктура околосшовной зоны с перегревом металла (выделение карбидов по границам зерен)

3.2.13. Примеры некачественного выполнения сварных соединений

Грубейшее нарушение при выполнении кольцевого шва. Основным фактором, вызвавшим нарушение технологии сварки, явился сверхнормативный зазор

между кромками. По данным ВИК облицовочный шов имеет ширину 44—51 мм, максимальное усиление 12 мм с чешуйчатостью 5 мм. Отсутствие сплавления в корне шва и в области заполняющих слоев вызвано нарушением технологии сварки (ввод в сварной шов в качестве присадочного материала электродной проволоки Ø 4 мм).



Разрушенное сварное кольцевое соединение лупинга газопровода СРТО-Урал-II км 569 Нижнетуринского ЛПУ МГ

4. Дефекты, образованные при транспортировке, хранении и монтаже

4.1. Потертость

Описание.

Потертость — дефект в виде шероховатостей и углублений произвольных размеров и формы на поверхности металлопродукции. Дефект наблюдается визуально.

Причины образования.

Механические повреждения при трении изделий друг об друга или об упаковочные средства и тару.

Способы предотвращения.

Повышение культуры производства.

Способы устранения.

Дефекты устраняются зачисткой, если это допускается техническими условиями и НТД.

4.2. Царапина (риска)

Описание.

Царапина (риска) — дефект в виде протяженного углубления на поверхности металлопродукции неправильной формы и произвольного направления с наклонными боковыми стенками в виде острого надреза. Дефект выявляется визуально.

Причины образования.

Дефект образуется в результате механического повреждения поверхности металлопродукции.

Способы предупреждения.

Повышение культуры производства.

Способы устранения.

Дефект устраняется вышлифовкой, если глубина царапины (риски) не превышает допуска на толщину металлопродукции в соответствии с требованиями технических условий и НТД.



Вид поверхности металла трубы с царапиной (риской)

4.3. Забоина

Описание.

Забоина — углубление неправильной формы и переменной глубины, произвольно расположенное на поверхности изделия. Дефект выявляется визуально.

Причины образования.

Забоина образуется при соударении металлоизделия с твердыми предметами.

Способы предупреждения.

Повышение культуры производства.



Вид поверхности металла трубы с забоинами

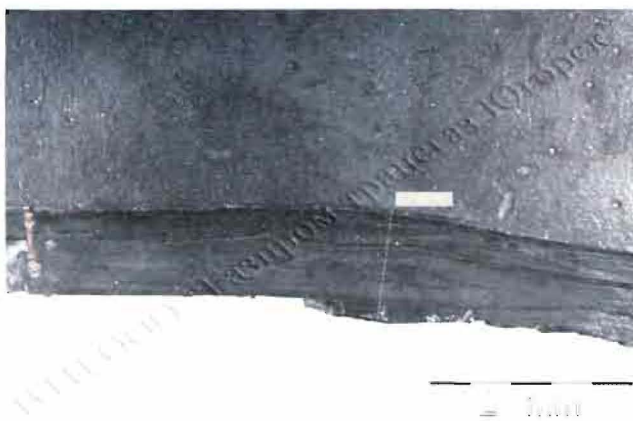
Способы устранения.

Дефект устраняется вышлифовкой, если глубина забоины не превышает допуска на толщину металлоизделия в соответствии с требованиями ТУ и НТД.

4.4. Продир

Описание.

Продир — дефект в виде широкого продольного углубления на поверхности металлоизделия. Дефект выявляется визуально.



*Вид поверхности трубы газопровода
Игрим—Серов км 41 Пунгинского ЛПУ
МГ, разрушенной по причине снижения
прочности из-за наличия продира с
трещинами пластической деформации*



Вид поверхности трубы с продиром

Причины образования.

Дефект образуется в результате механического воздействия на металлопродукцию.

Способы предупреждения.

Повышение культуры производства.

Способы устранения.

При глубине продира меньше допуска по толщине металлоизделия устраняется вышлифовкой в соответствии с требованиями ТУ и НТД.

4.5. Вмятина

Описание.

Вмятина — дефект в виде местного плавного изменения формы поверхности металлоизделия. Дефект выявляется визуально.

Причины образования.

Дефект образуется в результате механического воздействия на наружную поверхность металлопродукции сосредоточенной или распределенной поперечной нагрузкой.



Вид поверхности металла трубы с забоинами

Способы предупреждения.

Повышение культуры производства.

Способы устранения.

В зависимости от размеров (глубины) вмятины, наличия дефектов в площади вмятины и в близлежащей зоне, а также плавности сопряжения ее краев с основной поверхностью дефект может выбраковываться в соответствии с требованиями технических условий и НТД.

5. Дефекты, образованные в процессе эксплуатации

5.1. Сплошная коррозия

Описание.

Сплошная коррозия — дефект коррозионного типа, охватывающий всю поверхность металла. Сплошная коррозия может быть равномерной, т.е. протекающей с одинаковой скоростью по всей поверхности металла, и неравномерной.

Причины образования.

Наличие коррозионной (окислительной) среды на поверхности металла.

Способы предупреждения.

Эффективная защита поверхности металла от воздействия коррозионной среды.

Способы устранения.

При толщине металла, подвергшегося коррозии, в пределах допуска по толщине металлоизделия устраняется зачисткой (вышлифовкой) в соответствии с требованиями технических условий и НТД.



Вид поверхности трубы со сплошной коррозией

5.2. Язвенная коррозия (каверна)

Описание.

Язвенная коррозия — местный коррозионный дефект (или группа дефектов) имеющий вид отдельной раковины.

Причины образования.

Локальное воздействие на поверхность металла коррозионной среды. Наиболее часто возникает при наличии в поверхностном слое металла коррозионно-активных (неметаллических) включений.

Способы предупреждения.

Эффективная защита поверхности металла от воздействия коррозионной среды.

Способы устранения.

Зачистка (вышлифовка) с последующей заваркой дефекта в соответствии с требованиями НТД.



Язвенная коррозия на теле трубы



Язвенная коррозия сварного шва

5.3. Точечная коррозия (питтинг)

Описание.

Точечная коррозия (питтинг) — местная коррозия металла в виде отдельных точечных поражений.

Причины образования.

Растворивание металла около коррозионно-активных (неметаллических) включений. Основными факторами, способствующими появлению и развитию механизма точечной коррозии, являются следующие причины:

- загрязненность металла коррозионно-активными включениями;
- воздействие коррозионно-активной среды.

Способы предупреждения.

Эффективная защита поверхности металла от воздействия коррозионной среды.

Способы устранения.

Зачистка (вышлифовка) с последующей заваркой дефекта в соответствии с требованиями НТД.



Вид поверхности трубы с точечной коррозией



Микрошлиф с точечной коррозией

5.4. Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН)

Описание.

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) — дефект является разновидностью коррозионной повреждаемости металла, развивающийся при одновременном воздействии коррозионно-активной среды и статических или низкочастотных циклических напряжений растяжения (приложенных или остаточных). Образование трещин происходит без выраженных признаков сопутствующей разрушению пластической деформации и наличия продуктов коррозии. Наиболее часто направление трещин коррозионного растрескивания совпадает с осью трубы, за исключением случаев перегрузки металла дополнительным источником нагружения или влияния высокого уровня остаточных сварочных напряжений. Дефект располагается, как правило, в нижней образующей трубы и вблизи сварных швов. По форме образованного повреждения дефект классифицируется: единичная трещина, поле (колония) трещин.

Причины образования.

Причинами развития механизма коррозионного растрескивания является одновременное выполнение трех факторов:

- наличие на поверхности трубы коррозионно-активной среды;
- наличие в поверхностном слое металла зародышей трещин или концентраторов напряжений механического или химического (коррозионного) происхождения;
- возникновение в вершине концентратора с уровнем коэффициента интенсивности напряжений для данного металла выше порогового значения.

Способы предупреждения.

Эффективная защита поверхности металла от воздействия коррозионной среды.

Способы устранения.

Зачистка (вышлифовка) с последующей заваркой дефекта или удаление поврежденной зоны в соответствии с требованиями НТД.



Поле КРН на фоне питтинговой коррозии



Трещина КРН по линии сплавления заводского продольного шва



Вид излома с трещиной КРН в основном металле трубы



Вид излома с трещиной КРН, расположенной у кольцевого шва



Вид излома с трещиной КРН по линии сплавления кольцевого шва, выполненного РД сваркой (газопровод Уренгой—Новопсков Казымского ЛПУ МГ)



Коррозионное растравливание металла на поверхности трубы, способствующее зарождению трещины КРН



Микроструктура стали с развивающейся трещиной КРН

5.5. Усталостная трещина

Описание.

Усталостная трещина — трещиноподобный дефект, образованный под действием циклических нагрузок. Зарождение усталостных трещин происходит под действием локальных пластических деформаций металла. При этом, даже когда действующие напряжения намного ниже предела упругости материала, локальные напряжения из-за наличия концентрации напряжений на включениях или механических повреждениях могут превышать предел текучести металла.

При нагружении металла (первом цикле) в месте концентратора напряжений происходит сдвиговая деформация (выдавливание или вдавливание поверхности металла). При последующих циклах, в условиях непрерывно продолжающегося пластического течения, вдавливание перерастает в трещину. Если в процессе циклического нагружения напряжения остаются рас-

тягивающими, то этот механизм развития усталостной трещины будет прежним, т.к. возникающие при возрастании нагрузки пластические деформации во время разгрузки являются причиной остаточных сжимающих напряжений. В этом случае усталостная трещина будет развиваться за счет обратного сдвига.

Рельеф поверхности излома по глубине усталостной трещины может иметь ступенчатое строение (фронт продвижения усталостной трещины), которое свидетельствует об изменении амплитуды нагрузки во времени.

Сколы на венце зубчатой муфты ГПА №12 СОГ-1 Ямбургского ЛПУ МГ, образованные по механизму развития усталостных трещин



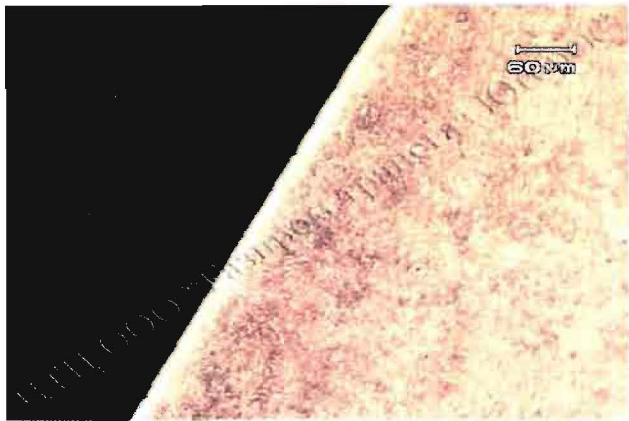
Общий вид венца зубчатой муфты



Вид поверхности излома на зубьях венца



*Микроструктура металла вблизи развития усталостных трещин (сталь 36Х2Н2МФА).
Нарушение технологии упрочнения.
Твердость металла 192 НВ*



*Микроструктура стали марки 36Х2Н2МФА с упрочненным слоем.
Твердость металла 254 НВ*

**Лопатка 1-й ступени КВД ГПА №13 — «Новоивдельская» Ивдельского ЛПУ МГ,
разрушенная по причине развития усталостной трещины от забоины
на входной кромке**

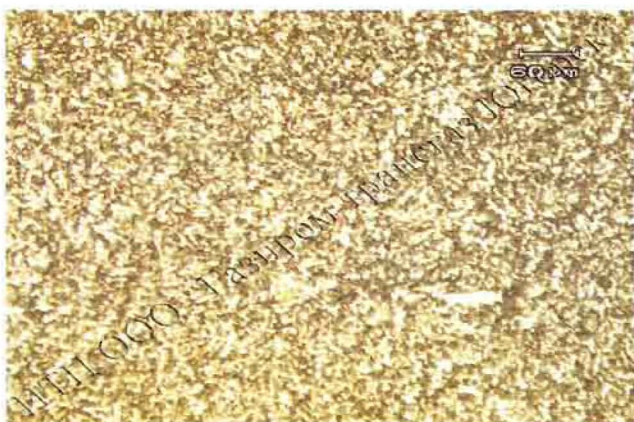


Вид поверхности излома с усталостной трещиной

**Лопатка 4 ступени КВД ГПА №22 Ивдельского ЛПУ МГ, разрушенная по причине
развития усталостной трещины от риски на спинке лопатки
при неудовлетворительных прочностных свойствах**



Вид поверхности излома с усталостной трещиной



***Дефектная микроструктура
разрушенной лопатки
(сталь ЭИ961-Ш).***

Твердость металла лопатки 220 НВ



***Микроструктура лопатки
изготовленной из стали ЭИ961-Ш.
Твердость металла лопатки 302 НВ***

***Тройниковое соединение (люк-лаз) ТПО ГПА 35 Казымского ЛПУ МГ,
разрушенное по причине развития усталостной трещины***



Тройниковое соединение после проведения цветной дефектоскопии



Концентратор напряжений (несплавление сварного шва) явившийся очагом зарождения усталостной трещины



Вид поверхности излома с усталостной трещиной

Причины образования.

Причинами зарождения усталостных трещин являются:

— наличие концентрации напряжений в металле, вызванное присутствием дефектов структуры металла, сварных соединений или механических повреждений;

— воздействие циклической нагрузки.

Способы предупреждения:

— снижение амплитуды циклической нагрузки;

— уменьшение (удаление) концентраторов напряжений.

5.6. Трещина пластической деформации

Описание.

Трещины пластической деформации — дефекты в виде нарушения сплошности металла (микро- и макротрещины), образующиеся при эксплуатации металла в упруго-пластической зоне диаграммы растяжения. Развитие трещины происходит по механизму вязкого разрушения в два этапа: зарождение микро- и макронесплошностей и вязкий дорыв металла элемента конструкции в результате объединения трещин.



***Макрошлиф сварного соединения
в вершине трещины пластической
деформации***



***Микрошлиф с трещиной пластической
деформации***

Причины образования.

Превышение проектной нагрузки.

Способы устранения.

Ремонт дефекта сваркой или замена элемента конструкции.

Способы предупреждения.

Геодезический контроль и/или мониторинг напряженно-деформированного состояния.

5.7. Эрозионный абразивный износ

Описание.

Эрозионный абразивный износ — вид повреждения (износа), вызванный обтеканием поверхности металла потоками транспортируемого продукта с взве-

шенными твердыми частицами на высоких скоростях. Износ происходит за счет истирания поверхности частицами, приобретающими значительную кинетическую энергию, пропорциональную квадрату скорости газового потока.

Причины образования.

Загрязненность транспортируемой среды взвешенными твердыми частицами в потоке транспортируемого продукта.

Способы устранения.

Дефект не устраняется (может быть выявлен периодическим контролем толщины детали).

***Отвод Ду50 наземного участка обвязки крана 19
г/п Ямбург—Западная граница СССР Приозерного ЛПУ МГ***



Вид разрушенного отвода снаружи



Вид разрушенного отвода изнутри



Вид разрушенного отвода в разрезе

Научно-технический сборник

Олег Евгеньевич Васин
Вячеслав Михайлович Югай
Риф Анварович Садртдинов
Валерий Арнольдович Подмогаев
Владимир Борисович Гейцан
Николай Константинович Кареев
Алексей Анатольевич Селиванов

Атлас дефектов

Ответственный за выпуск *А.А. Селиванов*
Компьютерная верстка *И.И. Глазыриной*

Подписано в печать 18.12.2008. Формат 60×84/8.

Печать офсетная. Бумага мелованная.

Усл.-печ. л. 6,5. Тираж 100 экз. Заказ № 436.

Типография «Уральский центр академического обслуживания»
620219, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91