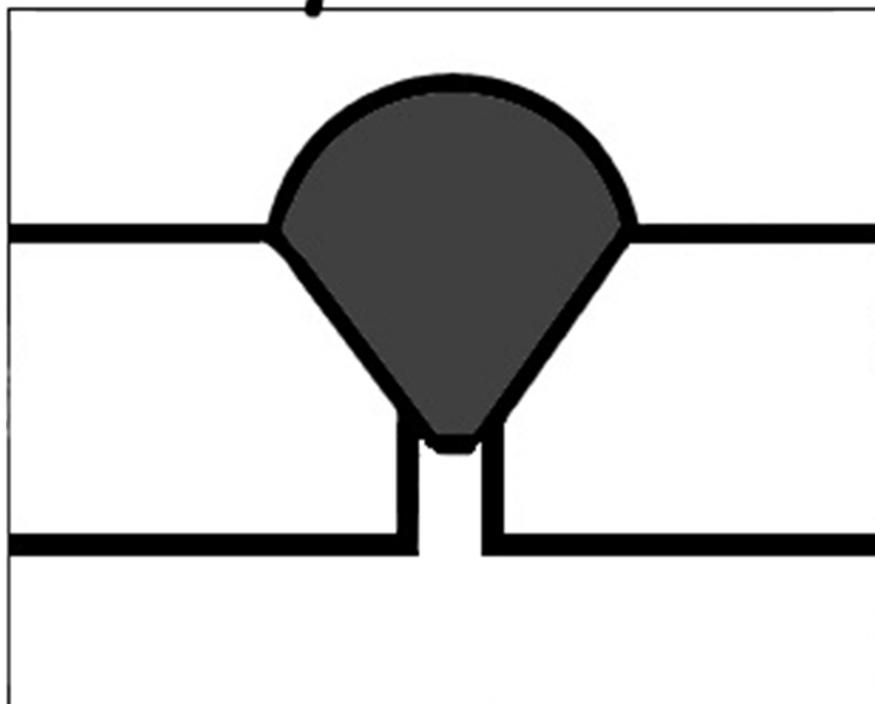


дефекты



Введение	2
1.1. Дефекты стальных слитков	7
1.2. Дефекты проката и труб	9
1.3. Дефекты термической обработки.....	12
1.4. Дефекты сварки плавлением.....	14
1.5. Эксплуатационные дефекты	23

Введение

При изготовлении изделий и сварных конструкций возникают технологические дефекты: состава материала (включения, охрупчивающие примеси и т.д.); плавки и изготовления заготовок (пористость, усадочные раковины, неметаллические включения, закаты, расслоения); механической обработки (ожоги, продиры, заусенцы, риски, трещины, прорезы, избыточная локальная пластическая деформация); сварки (трещины, непровары, поры, подрезы, остаточные сварочные напряжения, изменение структуры зоны термического влияния основного материала и т.д.); термической обработки (перегрев, закалочные трещины, обезуглероживание, избыточные остаточные аустениты и др.); обработки поверхностей (химическая диффузия, водородное охрупчивание, снижение механических свойств и др.); сборки (риски, задиры, смещения кромок свариваемых деталей, несоответствие размеров деталей и др.). Механические, химико-термические воздействия на материалы конструкций во время обработки и сварки вызывают изменения предела прочности, сопротивления хрупкому разрушению, коррозионной стойкости и др. Основными эксплуатационными причинами отказов и повреждений являются: дефекты; нарушение условий эксплуатации; коррозия; износ; наличие перегрузок и непредвиденных нагрузок; неправильное техническое обслуживание и т. д.

Система НК направлена на поиск дефектов, которые могут быть обусловлены нарушением сплошности материалов и деталей, неоднородностью состава материала: наличием включений, изменением химического состава, наличием других фаз материала, отличных от основной фазы, отклонением размеров и физико-механических характеристик от номинальных значений, нарушениями формы и другими причинами.

По влиянию на напряженно - деформированное состояние конструкций дефекты подразделяют на два класса:

- классические дефекты - дефекты, имеющие конечный (ненулевой) радиус закругления в вершине ρ . Основным параметром, характеризующим уровень концентрации напряжений таких дефектов, является теоретический коэффициент концентрации напряжений α_σ ;
- трещиноподобные дефекты - дефекты, имеющие острую вершину (с практически нулевым радиусом ρ). Основным параметром,

характеризующим уровень концентрации напряжений таких дефектов, является коэффициент интенсивности напряжений K_{IC} .

Для учета данной классификации все дефекты, выявленные при НК, по своим геометрическим параметрам подразделяются на плоскостные и объемные.

Независимо от типа дефектов их разделяют на три вида:

- критические, когда при наличии дефекта использовать продукцию по назначению невозможно или недопустимо (небезопасно);
- значительные, оказывающие существенное влияние на использование продукции и на ее долговечность, но не являющиеся критическими;
- малозначительные, практически не влияющие на использование продукции по назначению и на ее долговечность.

Вид дефекта, в отличие от типа, характеризует степень его влияния на эффективность и безопасность использования продукции с учетом ее назначения, т. е. потенциальную опасность рассматриваемого дефекта. Очевидно, что дефект одного и того же типа и размера может принадлежать к дефектам различного вида в зависимости от условий и режимов эксплуатации продукции.

По происхождению дефекты изделий подразделяют на производственно-технологические (металлургические, возникающие при отливке и прокатке, технологические, возникающие при изготовлении, сварке, резке, пайке, клепке, склеивании, механической, термической или химической обработке); эксплуатационные (возникающие после некоторой наработки изделия в результате усталости материала, коррозии металла, изнашивания трущихся частей, а также неправильной эксплуатации и технического обслуживания) и конструктивные дефекты, являющиеся следствием несовершенства конструкции из-за ошибок конструктора.

С точки зрения ремонтпригодности выявляемые при обследовании трубопроводов и других конструкций дефекты подразделяются на: исправимые - устранение которых технически возможно и экономически целесообразно; неисправимые - устранение которых связано со значительными затратами или невозможно.

Наиболее типичные для стальных трубопроводов дефекты,

повреждения и несовершенства конструкции, выявляемые при диагностировании, по характеру их появления могут быть подразделены на две основные группы: технологические - дефекты, возникающие в результате строительно-монтажных и ремонтных работ; эксплуатационные - дефекты, возникающие в процессе эксплуатации после некоторой наработки.

Технологические дефекты являются концентраторами напряжений и при длительной эксплуатации могут переходить в трещины и благоприятствовать усилению коррозии стенки трубопроводов.

С целью выбора оптимальных методов и параметров контроля производится классификация дефектов по различным признакам: по размерам дефектов, по их количеству и форме, по месту расположения дефектов в контролируемом объекте, ориентации и т.д.

Размеры дефектов могут изменяться от долей миллиметров до сколь угодно большой величины. Практически размеры дефектов лежат в пределах 0,01 мм – 1 см.

Минимально допустимые размеры несплошностей определяют выбор технологии и параметров НК.

При количественной классификации дефектов различают три случая: одиночные дефекты, групповые (множественные) дефекты, сплошные дефекты (обычно в виде газовых пузырей и шлаковых включений в металлах).

При классификации дефектов по форме различают три основных случая: дефекты правильной формы, овальные, близкие к цилиндрической или сферической форме, без острых краёв; дефекты чечевицеобразной формы, с острыми краями; дефекты произвольной, неопределённой формы, с острыми краями – трещины, разрывы, посторонние включения.

Форма дефекта определяет его опасность с точки зрения разрушения конструкции. Дефекты правильной формы, без острых краёв, наименее опасны, т.к. вокруг них не происходит концентрации напряжений. Дефекты с острыми краями являются концентраторами напряжений. Эти дефекты увеличиваются в процессе эксплуатации изделия по линиям концентрации механических напряжений, что, в свою очередь, приводит к разрушению изделия.

При классификации дефектов по положению различают четыре случая:

- поверхностные дефекты, расположенные на поверхности материала, полуфабриката или изделия, – это трещины, вмятины, посторонние включения;

- подповерхностные дефекты – это дефекты, расположенные под поверхностью контролируемого изделия, но вблизи самой поверхности;

- объёмные дефекты – это дефекты, расположенные внутри изделия;

- сквозные дефекты – это наличие фосфовидных и нитридных включений и прослоек.

По форме поперечного сечения сквозные дефекты бывают круглые (поры, свищи, шлаковые включения) и щелевидные (трещины, непровары, дефекты структуры, несплошности в местах расположения оксидных и других включений и прослоек).

По величине эффективного диаметра (для дефектов округлого сечения) или ширине раскрытия (для щелей, трещин) сквозные дефекты подразделяются на обыкновенные ($>0,5$ мм), макрокапиллярные ($0,5 - 10^{-4}$ мм) и микрокапиллярные (больше $2 \cdot 10^{-4}$ мм).

По характеру внутренней поверхности сквозные дефекты подразделяются на гладкие и шероховатые. Относительно гладкой является внутренняя поверхность шлаковых каналов. Внутренняя поверхность трещин, непроваров и вторичных поровых каналов, как правило, шероховатая.

Ориентация дефекта влияет как на выбор метода контроля, так и на его параметры.

Опасность влияния дефектов на работоспособность зависит от их вида, типа и количества. Классификация возможных дефектов в изделии позволяет правильно выбрать метод и средства контроля.

Следует отметить, что принятые в руководящей документации нормы отбраковки по результатам НК не гарантируют, что наличие в объекте дефектов с размерами, превышающими допустимые, приводит к критическому снижению работоспособности в процессе эксплуатации. Это связано с тем, что применяемые технологии РК не позволяют уверенно установить тип дефекта и определить его характеристики (кривизна несплошности на всей ее поверхности, глубина залегания, ориентация несплошности в объекте контроля), без чего не удастся достичь приемлемой

достоверности прочностных расчетов.

Нормирование максимальных размеров дефектов, обнаруженных при НК, имеет смысл только для конкретного объекта (участка объекта) контроля и установленных режимов его эксплуатации, а результаты НК без существенных допущений нецелесообразно связывать с надежностью объекта контроля. В общем случае нормы отбраковки необходимо рассматривать как способ поддержания технологической дисциплины в условиях конкретного производства.

Для оценки влияния дефектов на механические и эксплуатационные свойства объекта контроля используют разрушающие испытания. Эти испытания проводят на сварных образцах, вырезаемых из самого объекта контроля или из специально сваренных контрольных соединений, выполненных в соответствии с требованиями и технологией на сварку изделия в условиях, соответствующих сварке. Целью этих испытаний являются:

- оценка прочности и надежности сварных соединений и конструкций;
- оценка качества основного и сварочного материалов; оценка правильности выбранной технологии; оценка квалификации сварщиков.

Свойства сварного соединения сопоставляют со свойствами основного металла. Результаты считаются неудовлетворительными, если они не соответствуют заданному регламентированному уровню.

Основными испытаниями являются механические испытания по ГОСТ 6996-66, который предусматривает следующие виды испытаний сварных соединений и металла шва:

- испытание сварного соединения в целом и металла различных участков сварного соединения (наплавленного металла, зоны термического влияния, основного металла) на статическое (кратковременное) растяжение, статический изгиб, ударный изгиб (на надрезанных образцах), на стойкость против механического старения;
- измерение твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла.

Контрольные образцы для механических испытаний выполняют определенных размеров в соответствии со стандартами на определенный вид испытания.

Испытаниями на статическое растяжение определяют прочность сварных соединений. Испытаниями на статический изгиб определяют пластичность соединения по величине угла изгиба до образования первой трещины в растянутой зоне. Испытания на статический изгиб проводят на образцах с продольными и поперечными швами со снятым усилением шва заподлицо с основным металлом. Испытаниями на ударный изгиб, а также ударный разрыв, определяют ударную вязкость сварного соединения.

По результатам определения твердости судят о структурных изменениях и степени упрочения (охрупчивания) металла в результате охлаждения после сварки.

Любой дефект при определенных условиях может инициировать отказ отдельного элемента или всей конструкции. Основной металл и сварные соединения ТП содержат множество различных дефектов, возникающих в процессе изготовления труб, их транспортировки и монтажа на строительной площадке, при эксплуатации и ремонте трубопровода. Так как большинство дефектов имеют макроскопические размеры, они хорошо выявляются современными средствами и технологиями НК.

1.1. Дефекты стальных слитков

Дефекты сталеплавильного происхождения являются следствием нарушения или несовершенства технологии при производстве слитков при выплавке и разливке, а также при их дальнейшей переработке в блюм и катанную заготовку.

Газовые пузыри представляют собой отверстия круглой или овальной формы на поверхности слитков, направленные вглубь в виде капсул. Вызваны выделением газов из жидкого металла в процессе охлаждения и кристаллизации, а также попаданием газов в металл при разливке.

Горячая (кристаллизационная) трещина представляет узкий, слегка извилистый, прерывистый разрыв металла с неровными, сильно окисленными стенками, суживающийся вглубь, расположены перпендикулярно поверхности, образующийся при кристаллизации в поверхностных слоях слитка. Трещины могут быть на углах и на гранях, продольными, поперечными и косорасположенным, что зависит от направления растягивающих напряжений, возникающих в процессе

кристаллизации и вызывающих их образование наряду с низкой пластичностью стали, вызванной большим содержанием серы.

Инородные металлические включения представляют собой частицы огнеупорного материала, шлака, утеплительной смеси, попадающие в металл при разливке. Инородные неметаллические включения могут быть разной формы и размеров, они расположены в металле произвольно, чаще всего в виде скоплений.

Заворот корки представляет поперечное подворачивание окисленной корки металла в тело слитка по всему периметру или его части. Как правило, эти дефекты имеют групповое расположение поперек слитка и могут образовываться по всей высоте слитка или его части параллельно друг другу. В месте расположения заворота корки (в местах подворачивания) нет щелей, разрывов, извилистых и других зигзагообразных трещин, так как подвернувшаяся часть корки плотно прилегает к верхнему слою слитка. Этот дефект наблюдается при всех способах разливки, но более характерен для слитков, полученных сифонной разливной металла с низкой температурой и скоростью.

Подтеки представляют наплывы металла зигзагообразной формы, приварившиеся к телу слитка и расположенные по периметру на разной высоте. Нередко подтеки наблюдаются на тех же слитках, на которых имеются завороты корки, но они расположены выше последних. Возникают вследствие затекания жидкого металла между изложницей и слитком при разрыве зеркала корки отливки в результате повышения скорости разливки.

Сетка разгара представляет невысокие выступы на поверхности слитка, расположенные в виде сетки, которые могут сопровождаться большим количеством газовых пузырей, включениями теплоизолирующих материалов, иногда трещинами поперечной ориентации. Расположение сетки разгара произвольно по периметру и высоте слитка и зависит от расположения и размеров дефектов изложниц, являющихся причиной появления сетки разгара на слитке.

Бугор представляет выпуклость на поверхности слитка, расположенную, как правило, на грани. Размеры участков с буграми бывают различные от нескольких десятков до нескольких сотен миллиметров по длине и ширине. Высота бугров может быть до нескольких десятков

миллиметров. Расположение и размеры бугров на поверхности слитка соответствуют местам и размерам раковин на внутренней поверхности стенок изложницы.

1.2. Дефекты проката и труб

Дефекты прокатного происхождения являются следствием нарушения или несовершенства технологии прокатки, настройки станов нагрева металла перед прокаткой при производстве блюмов, катанной заготовки, а также при их дальнейшей переработке в трубы.

Дефекты трубного производства (рисунок 1) являются следствием нарушения или несовершенства технологии нагрева заготовки перед прокаткой в трубы и состояния инструмента, настройки станов, оборудования для отделки, термообработки.

Пузырь-вздутие (рис. 1а) - дефект поверхности в виде локализованного вспучивания металла с последующим его прикатыванием и часто с разрывом по контур.

Плена (рис. 1б) - дефект поверхности, представляющий собой отслоение металла языкообразной или неправильной формы, соединенное с основным металлом одной стороной, явившийся следствием раскатки дефекта сляба или следов его грубой зачистки. Образуется вследствие раскатки или расковки рванин, подрезов, следов глубокой зачистки дефектов или сильной выработки валков.

Раскатанная трещина (рис. 1в) - дефект поверхности, представляющий собой разрыв металла, образовавшийся при раскатке трещины литой заготовки. Образуется вследствие раскатки продольной или поперечной трещины слитка или литой заготовки.

Прикромочные закаты (рис. 1г) - дефект поверхности листов, представляющий собой несплошности, одиночные или многочисленные, прямолинейные или извилистые, различной протяженности и степени раскрытия, ориентированные в направлении наибольшей вытяжки металла при прокатке. Образуются вследствие закатывания грубых следов зачистки и глубоких рисок.

Отпечатки (рис. 1д) - дефекты поверхности в виде выступов или углублений, одиночных или периодически повторяющихся по длине листа.

Образуется в результате прокатки или правки листа при дефекте валков или налипания на них инородных частиц.

Рябизна (рис. 1е) - дефект поверхности в виде мелких углублений от выпавшей окалины, сгруппированных в полосы различной протяженности и ширины. Образуется в результате прокатки или правки листа при вдавливании окалины.

Раковины от окалины (рис. 1ж) - дефект поверхности в виде отдельных углублений, частично вытянутых вдоль направления прокатки, образующихся при выпадении вкатанной окалины; дефект имеет шероховатое дно, переход от основного металла к кратеру дефекта - плавный, границы - размытые. Раковины от окалины отличаются от рябизны большими размерами и меньшим количеством. Образуется в результате прокатки или правки листа при вдавливании окалины.

Вкатанные металлические частицы (рис. 1з) - дефект поверхности листа в виде приварившихся и закатанных частиц металла. Металлические частицы, вкатанные в процессе горячей прокатки (т.е. при повышенных температурах), не выступают над поверхностью листа, имеют одинаковую степень окисленности с основным металлом, не сопровождаются ореолом. Образуется в результате прокатки или горячей правки листа при вдавливании металлических частиц.

Раковина (рис. 1и) - дефект поверхности в виде одиночного углубления, образовавшегося при выпадении вкатанной инородной частицы; может располагаться вдоль направления прокатки. Характерный для повышенных температур, дефект не сопровождается ни ореолом, ни образованием наплывов металла по его контуру. Дно дефекта может быть гладким или рельефным, в зависимости от состояния поверхности вдавливаемой частицы. Образуется при выпадении вкатанной при прокатке инородной частицы.

Вдав (рис. 1к) - углубления различной формы и переменной глубины, единичные или множественные, произвольно расположенные на поверхности листа или трубы. Глубокие дефекты сопровождаются выступом – наплывом металла. В отдельных случаях дефекты повторяют контур инородных частиц, послуживших причиной их образования, и сопровождаются ореолом.

Образуется при выпадении вкатанной или вдавленной в холодном состоянии инородной частицы.

Расслоение (рис. 1л) – несплошности (раскатанные или расплющенные пустоты литого металла), ориентированные строго вдоль направления деформации и проявляющиеся в изломе в виде трещин. Расслоения образуются вследствие раскатки при деформации усадочных раковин, рыхлости, газовых пузырей, неметаллических и металлических включений, имевшихся в слитке, которые служат очагами зарождения несплошности в прокате. Дефект преимущественно располагается в центральной части заготовок, обладающих пониженной пластичностью. Металлургические расслоения имеют различную форму, размеры, но глубина их залегания, как правило, одинакова - в срединной части толщины стенки трубы.



а



б



в



г



д



е



Ж



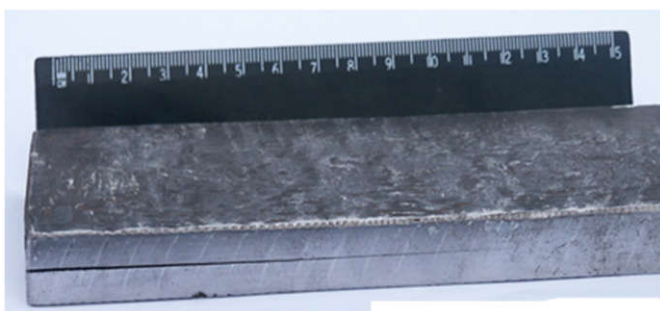
З



И



К



Л

Рис. 1. Дефекты проката и труб: а - пузырь-вздутие, б – плена, в - раскатанная трещина, г - прикромочные закаты, д – отпечатки, е – рябизна, ж - раковины от окалины, з - вкатанные металлические включения, и – раковина, к – вдав, л - расслоение

1.3. Дефекты термической обработки

Наиболее распространенными дефектами термической обработки являются дефекты вызванные несоблюдением или несовершенством режимов нагрева или охлаждения.

Дефекты при отжиге и нормализации. В процессе отжига и нормализации могут возникнуть следующие дефекты: окисление, обезуглероживание, перегрев и пережог металла.

При нагреве в пламенных печах поверхность стальных деталей взаимодействует с печными газами. В результате металл окисляется и на деталях образуется окалина – химическое соединение металла с кислородом. С повышением температуры и увеличением времени выдержки окисление резко возрастает. Образование окалины не только вызывает угар (потерю) металла на окалину, но и повреждает поверхность деталей. Поверхность стали под окалиной получается разъеденной и неровной, что затрудняет обработку металла режущим инструментом.

Обезуглероживание, т. е. выгорание углерода с поверхности деталей, происходит при окислении стали. Обезуглероживание резко снижает прочностные свойства конструкционной стали. Кроме того, обезуглероживание поверхности может вызвать образование закалочных трещин и коробление (поводку детали).

При нагреве стали выше определенных температур и длительных выдержках в ней происходит быстрый рост зерен, ведущий к возникновению крупнокристаллической структуры. Это явление называют перегревом. Перегрев ведет к понижению пластических свойств стали. В перегретой стали при закалке образуются трещины.

Пережог получается в результате длительного пребывания металла в печи при высокой температуре, близкой к температуре плавления. Физическая сущность пережога состоит в том, что кислород из окружающей атмосферы при высокой температуре проникает в глубь нагреваемого металла и окисляет границы зерен. В результате окисления границ зерен механическая связь между зернами ослабевает, металл теряет пластичность и становится хрупким, что при последующей обработке может привести к образованию трещин.

Дефекты при закалке. В процессе нагрева под закалку и при закалке могут появляться следующие дефекты: трещины, деформация и коробление, обезуглероживание, мягкие пятна.

Закалочные трещины - это неисправимый брак, образующийся в процессе термической обработки. Они являются следствием возникновения больших внутренних напряжений. Трещины возникают при неправильном нагреве (перегреве) и большой скорости охлаждения в деталях, конструкция которых имеет резкие переходы поверхностей, грубые риски, оставшиеся

после механической обработки, острые углы, тонкие стенки и т.д. Закалочные трещины, обычно расположенные в углах деталей или инструмента, имеют дугообразный или извилистый вид.

Деформация и коробление деталей происходят в результате неравномерных структурных и связанных с ними объемных превращений, обуславливающих возникновение внутренних напряжений в металле при нагреве и охлаждении.

Мягкие пятна - это участки на поверхности детали или инструмента с пониженной твердостью. Такие дефекты образуются при закалке в процессе охлаждения в закалочной среде, когда на поверхности детали имелась окалина, следы загрязнений и участки с обезуглероженной поверхностью.

1.4. Дефекты сварки плавлением

Трещины. Дефект сварного соединения в виде локального разрыва металла по границам кристаллизующихся зерен или по самим кристаллам металла - рисунок 2.

Дефект виден невооруженным глазом или через лупу небольшого увеличения (до 20 крат) при визуальном контроле. Трещины могут возникать как в основном металле конструкции, так и в зоне сварного шва.

При сварке различают горячие и холодные трещины. Горячие - хрупкое межкристаллитное разрушение в процессе кристаллизации сварного шва; холодные – хрупкое межзеренное разрушение свежезакаленного сварного соединения под действием остаточных сварочных напряжений, которые происходят в течение 1, 2-ух суток после окончания сварки.

Горячие трещины возникают вследствие загрязненности свариваемого и присадочного металла серой и фосфором, а также при грубых нарушениях технологических режимов сварки (излишние тепловложения, быстрая скорость охлаждения). Холодные трещины возникают в среднелегированных и высоколегированных сталях перлитного и мартенситного классов при значительной концентрации диффузионного водорода в зоне сварки и наличии растягивающих напряжений. Холодные трещины имеют светлый блестящий излом без следов высокотемпературного окисления, горячие представляют собой извилистый окисленный разрыв металла. Располагаться трещины могут как на поверхности наплавленного металла, так и на

поверхности основного металла в зоне термического влияния с ориентацией вдоль или поперек сварного шва.

Также трещины могут встречаться в кратере – углублении в центре сварного шва, возникающем вследствие усадки расплавленного металла при резком обрыве дуги при прерывании процесса сварки.

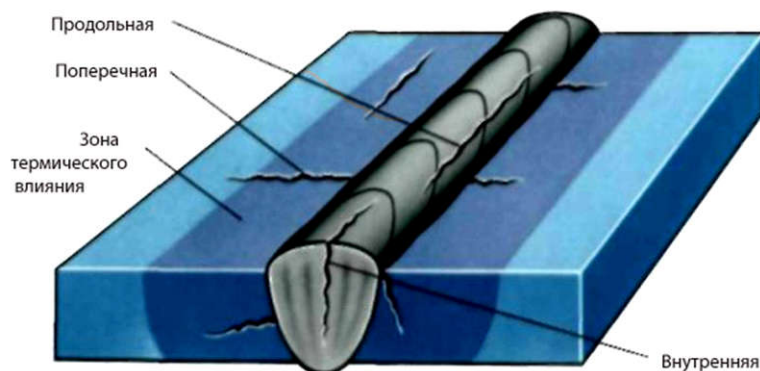


Рисунок 2 – Виды трещин

Пора. Дефект сварного шва в виде полости округлой формы, заполненной газом. На рисунке 3 наглядно представлена полость произвольной формы, без углов, образованная газами, задержанными в расплавленном металле. Внешние признаки дефекта отсутствуют, так как он находится внутри сварного шва.

В сварочной ванне образуются пузырьки водорода, азота, окиси углерода и др. газов. Эти пузырьки фиксируются в металле шва при его кристаллизации.

Причины возникновения:

- плохая защита сварочной ванны от влияния воздуха;
- неправильный выбор режима сварки;
- сварка с большой длиной дуги;
- недостаточное количество органических компонентов в составе электродного покрытия;
- плохая прокалка электродов;
- некачественная зачистка свариваемых кромок от ржавчины и загрязнений.

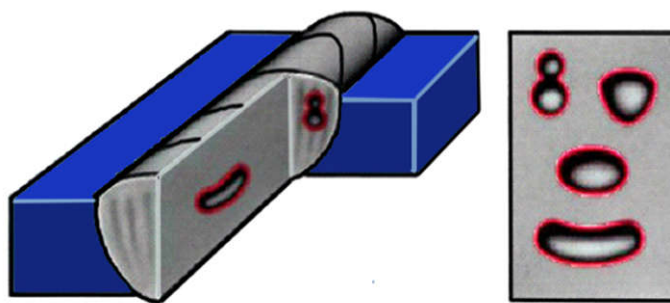


Рисунок 3 – Пора

Свищ. Трубчатая полость в металле сварного шва из-за выделений газа. Форма и положение свища зависят от режима затвердевания и вида газа. Обычно свищи скапливаются и распределяются «елочкой», рассмотрим на рисунке 4.

Внешние признаки отсутствуют, так как дефект находится внутри сварного шва. Обнаруживают методом неразрушающего контроля.

При сварке угловых швов в различных пространственных положениях, отличных от нижнего, подъемная сила не может выдавить пору наружу.

Причины возникновения:

- неблагоприятная геометрия сварочной ванны при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений;
- высокая вязкость металла сварочной ванны при сварке в потолочном, вертикальном и горизонтальном положениях;
- низкая пластичность металла шва;
- образование закалочных структур;
- внутренние напряжения от неравномерного нагрева.

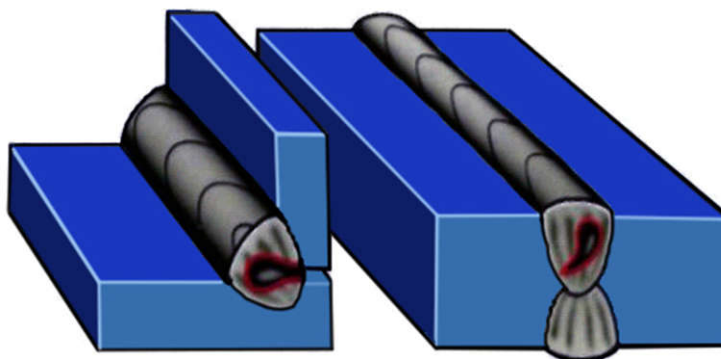


Рисунок 4 – Свищ

Поверхностная пора. Дефект, нарушающий сплошность поверхности сварного шва видимый невооруженным глазом или через лупу небольшого увеличения (2 – 4-х) при визуальном контроле.

Из-за высокой вязкости шлака на поверхности сварочной ванны и высокой скорости затвердевания шлака газовый пузырек (это могут быть пузырьки водорода, азота, водяного пара и окиси углерода, основные возбудители пор при сварке сталей – водород и азот) не может всплыть (пройти через уже затвердевшую шлаковую корку) и кристаллизуется в виде полости на поверхности сварного шва.

Газовая пора, нарушающая сплошность поверхности сварного шва изображена на рисунке 5.

Причины возникновения – повышенная вязкость шлака, расположенного на поверхности жидкой сварочной ванны.

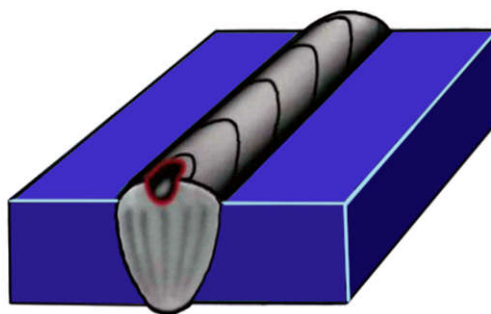


Рисунок 5 – Поверхностная пора

Усадочная раковина. Полость, образующаяся вследствие усадки металла во время затвердевания.

Дефект виден невооруженным глазом или через лупу небольшого (2–4-х) увеличения при визуальном контроле.

Под действием дуги зеркало сварочной ванны деформируется, приобретая вогнутый вид. При внезапном обрыве дуги оно не успевает straighten and solidifies in the form of a depression, which can be seen in Figure 6.

Причины возникновения:

- внезапный обрыв сварочной дуги;
- некачественная заварка кратера.

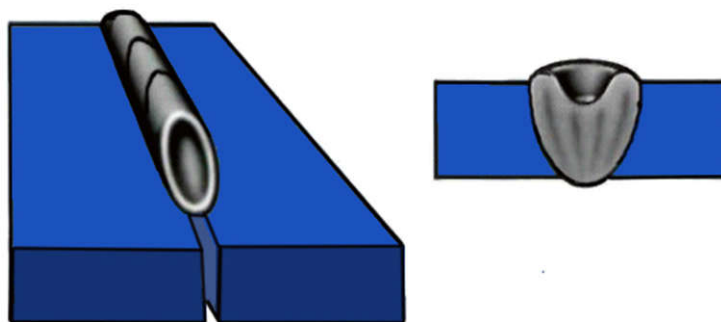


Рисунок 6 – Усадочная раковина

Твердое включение. Твердые инородные вещества металлического или неметаллического происхождения в металле сварного шва. Включения, имеющие хотя бы один острый угол, называются «остроугольными».

Внешние признаки отсутствуют, так как дефект находится внутри сварного шва.

Тугоплавкие частицы инородных металлов и других включений (вольфрам, медь, корунд, кварц и т.д.) фиксируются в сварочной ванне при ее кристаллизации, показано на рисунке 7.

Причины возникновения:

- эрозия вольфрамового электрода при аргонодуговой сварке;
- случайное попадание тугоплавких частиц извне в жидкий металл сварочной ванны.

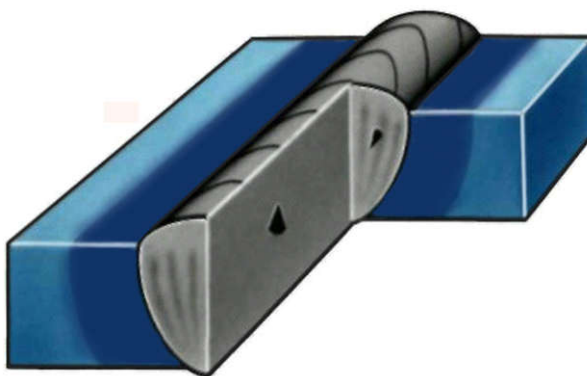


Рисунок 7 – Твердое включение

Шлаковое включение. Дефект в виде вкрапления шлака в сварном шве рассмотрен на рисунке 8. В разных условиях образования включения бывают

линейные (1 на рисунке 8); разобщенные (2 на рисунке 8); прочие (3 на рисунке 8).

Внешние признаки отсутствуют, так как дефект находится внутри сварного шва.

Гранулы флюса, обмазка электродов, шихта порошковой проволоки не успев вступить в реакцию с расплавленным металлом и всплыть на поверхность жидкой сварочной ванны, быстро кристаллизуются в ней.

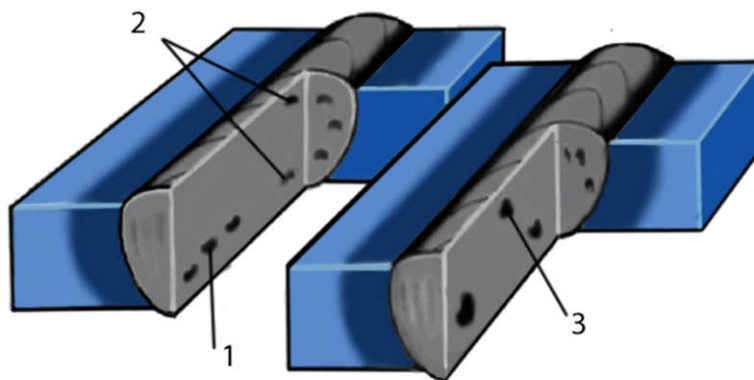


Рисунок 8 – Шлаковое включение

Несплавление. Отсутствие соединения между металлом сварного шва и основным металлом или между отдельными валиками сварного шва. На рисунке 9 различают несплавления: по боковой стороне (1 на рисунке 9), между валиками (2 на рисунке 9), в корне шва (3 на рисунке 9).

Внешние признаки: отсутствуют, так как дефект находится внутри сварного шва.

При дуговой сварке дуга не расплавила часть кромки стыка и не сформировала шов с ее участием.

Причины возникновения:

- неправильная подготовка кромок под сварку (форма и угол разделки);
- плохая зачистка свариваемых кромок;
- плохая подготовка поверхности валиков при многослойной сварке;
- химическая неоднородность металла;
- недостаточная сила тока;
- завышенная скорость сварки;
- низкая квалификация сварщика.

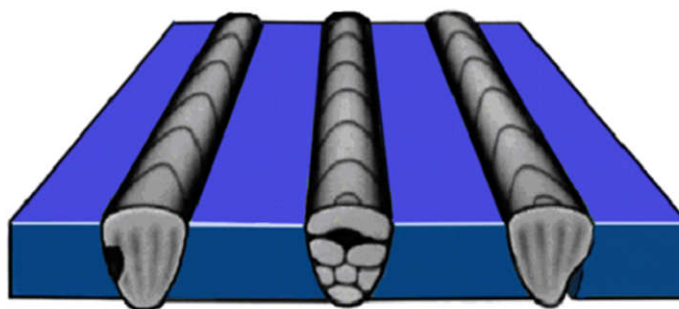


Рисунок 9 – Несплавление

Непровар. Дефект в виде несплавления в сварном соединении вследствие неполного расплавления кромок или поверхностей ранее выполненных валиков сварного шва

Бывает в корне или в сечении шва, показано на рисунке 10.

Внешние признаки отсутствуют, так как дефект находится внутри сварного шва.

Сварочная дуга не может расплавить нижнюю кромку разделки и сформировать шов с её участием. Расплавленный металл не проникает к корню соединения.

Причины возникновения:

- плохая зачистка свариваемых кромок;
- недостаточная сила тока;
- завышенная скорость сварки;
- низкая квалификация сварщика;
- неудобное пространственное положение шва.



Рисунок 10 – Непровар

Подрез. Дефект в виде углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом. На рисунке 11 продольное углубление на наружной поверхности валика сварного шва.

Жидкий металл сварочной ванны вытесняется в ее центральную часть. Высокая скорость кристаллизации и низкая смачиваемость препятствуют растеканию металла в границах расплавления.

Причины возникновения:

- сварка при повышенном напряжении на дуге;
- чрезмерная скорость сварки;
- неточное ведение электрода по оси стыка;
- неудобное пространственное положение шва;
- недостаточная смачиваемость металла шва.

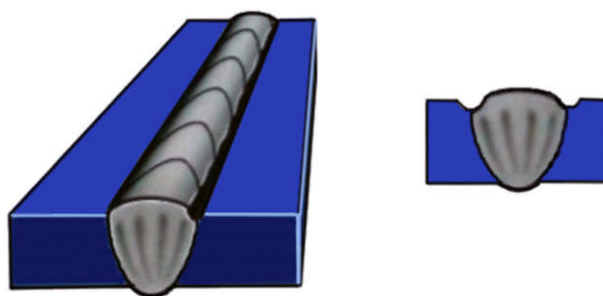


Рисунок 11 – Подрез

Наплыв. Дефект в виде натека металла шва на поверхность основного металла или ранее выполненного валика без сплавления с ним.

Избыток наплавленного металла сварного шва, натекающий на поверхность основного металла, но не сплавленный с ним, показан на рисунке 12. Внешние признаки: избыток металла шва по его краю. Дефект виден невооруженным глазом при визуальном контроле.

При формировании шва избыток металла сварочной ванны натекает на холодные кромки основного металла, не образуя с ним соединения.

Причины возникновения:

- ошибки в технике сварки;
- нарушение параметров режима сварки;
- неправильный выбор сварочных материалов;
- неудобство формирования шва, вызванное наличием мешающих

конструкций;

- большой сварочный ток;
- излишняя длина дуги.

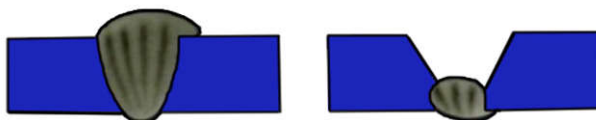


Рисунок 12 – Наплыв

Прожег. Дефект в виде вытекание металла сварочной ванны, в результате чего образуется сквозное отверстие в сварном шве, показан на рисунке 13.

Внешние признаки: сквозные отверстия или полости, образованные вследствие расплава сварочной ванны.

В сварочной ванне образуется чрезмерный объем жидкого металла. Он не удерживается силами поверхностного натяжения и самопроизвольно вытекает из шва.

Причины возникновения:

- химическая неоднородность свариваемого металла;
- завышенная сила тока при недостаточной скорости сварки;
- некачественная сборка стыка под сварку (под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная подкладка), чрезмерные зазоры;
- низкая квалификация сварщика.

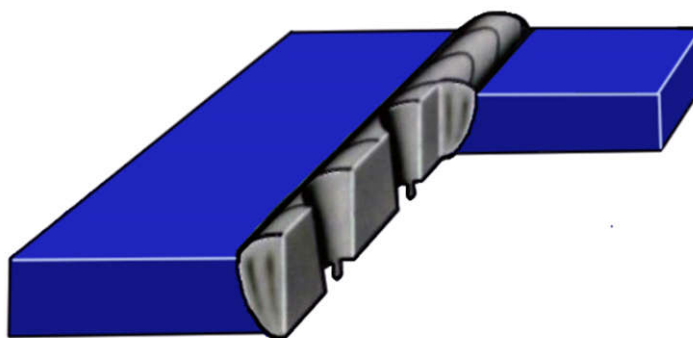


Рисунок 13 – Прожег

1.5. Эксплуатационные дефекты

Эксплуатационные дефекты возникают в процессе эксплуатации трубопроводов. К ним относятся коррозионные повреждения на внутренней и наружной поверхностях трубопровода, плотные отложения. Для трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды, кроме язвенной коррозии, характерны водородные расслоения и сероводородное растрескивание металла.

Водородные расслоения (рисунок 14) возникают при длительной эксплуатации трубопроводов в области металлургических дефектов металла труб, причем этот процесс протекает интенсивнее на участках трубопроводов с застойными зонами или в металле трубопроводов, находящихся в консервации. Основные водородные расслоения возникают в области ликвационных зон и состоят из нескольких соединившихся между собой макрорасслоений, являющихся результатом объединения межкристаллитных микрорасслоений.



Рис. 14. Водородное расслоение

Почвенная коррозия. Подземные трубопроводы могут корродировать и под влиянием работы микрогальванических пар, появляющихся по всей длине трубопровода вследствие его неодинакового состава или различной аэрации почвы на соседних участках. Почвенная коррозия металла труб в местах их контакта с наиболее коррозионно-активным верхним слоем может привести к образованию коррозионных повреждений значительной глубины (рисунок 15).



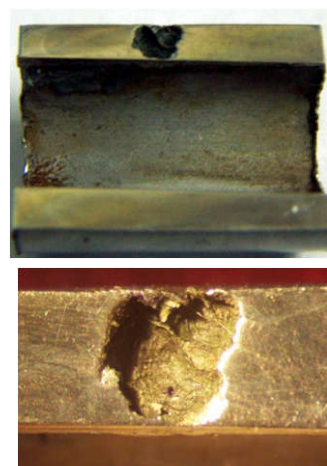
Рис. 15. Утонение стенок труб вследствие почвенной коррозии

Язвенная коррозия характеризуется появлением на поверхности конструкции отдельных или множественных повреждений, глубина и поперечные размеры которых (от долей миллиметра до нескольких миллиметров) соизмеримы (рисунок 16а). Язвенная коррозия обычно сопровождается образованием толстых слоев продуктов коррозии, покрывающих всю поверхность металла или значительные ее участки вокруг отдельных крупных язв (характерно для коррозии незащищенных стальных конструкций в грунтах).

Язвенная коррозия труб со временем переходит в сквозную (рисунок 16а).



а



б

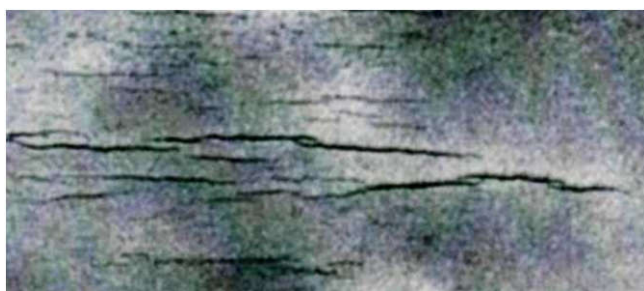
Рисунок 16. Язвенная коррозия: а – начало зарождения язв, б – окончательная стадия разрушения

Язвы являются острыми концентраторами напряжений и могут оказаться инициаторами зарождения усталостных трещин и хрупких разрушений. Для оценки скорости язвенной коррозии и прогнозирования ее развития в последующий период определяют средние скорости проникновения коррозии в наиболее глубоких язвах и количество язв на

единицу поверхности. Эти данные в дальнейшем используют при расчете остаточного срока эксплуатации оборудования и трубопроводов.

Коррозионное растрескивание – вид квазихрупкого разрушения металлов и сплавов при одновременном воздействии статических напряжений растяжения и агрессивных сред; характеризуется образованием единичных и множественных трещин, связанных с концентрацией основных рабочих и внутренних напряжений. Трещины могут распространяться между кристаллами или по телу зерен, но с большей скоростью в плоскости, нормальной к действующим напряжениям, чем в плоскости поверхности.

КРН магистральных газопроводов – разрушение металла труб в результате длительного и одновременного воздействия на их наружную поверхность механических напряжений, достигших порогового значения, и грунтового электролита. Необходимым условием развития стресс-коррозионных трещин является доставка коррозионно-активной среды в вершину развивающейся трещины при сохранении высокого уровня напряжений. Коррозионное растрескивание под напряжением проявлялось на трубах магистральных газопроводов в основном диаметрами 1020, 1220 и 1420 мм с пленочным антикоррозионным покрытием холодного нанесения. Преимущественно в нижней половине сечения трубы (под отслоившейся изоляцией) образовывались колонии одинаково направленных (в большинстве случаев параллельно оси трубы) поверхностных трещин различных размеров (рисунок 17).



а



б

Рисунок 17. Трещины КРН на поверхности:

а – основного металла трубы, б – вблизи продольного сварного шва

Для труб магистральных газопроводов стресс-коррозия, по-видимому, связана с исходным состоянием труб – уровнем и характером распределения остаточных напряжений технологического или конструктивного

происхождения и неоднородностью поверхности металла, например, с наличием поверхностных строчечных неметаллических включений размером более третьего номера. Характерным признаком КРН является множественный характер зарождения трещин, образующих стресс-коррозионный дефект («поле или колония трещин»), и их предпочтительная ориентация относительно растягивающих напряжений.

Усталостные трещины. При нагружении зарождение трещин в металле труб связано с возникновением больших растягивающих напряжений в результате скопления дислокаций, образующихся у препятствий или расположенных вдоль полос скольжения, коагуляции вакансий, возникновения экструзий (выдавливание тонких лепестков металла) и интрузий (провалы на поверхности металла). Период распространения усталостной трещины включает четыре этапа: кристаллографического роста I, стабильного роста II, нестабильного роста III и статического долома (окончательного разрушения) IV. Усталостные повреждения наиболее заметно протекают в зонах концентрации напряжений.