

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машиноведения

Е. В. Пояркова

ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ И СОЕДИНЕНИЙ

Часть 2

Поры, газовые полости

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.04.01 Машиностроение

Оренбург
2018

УДК 620.10
ББК 30.121
П 75

Рецензент – доцент, доктор технических наук Ю. А. Чирков

П 75 **Пояркова, Е. В.**

Дефекты сварных швов и соединений. Часть 2. Поры, газовые полости: методические указания / Е. В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2018. – 34 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторно-практических заданий по дисциплинам «Современные методы оценки конструктивной и технологической прочности сварных соединений конструкций», «Техническая диагностика и контроль качества» и «Машиноведение» обучающимися по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.04.01 Машиностроение.

Методические указания подготовлены в рамках проекта по совершенствованию содержания и технологий целевого обучения студентов в интересах организаций оборонно-промышленного комплекса («Новые кадры ОПК-2017»).

УДК 620.10
ББК 30.121

© Пояркова Е. В., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

Введение	4
1 Поры в сварных швах.....	9
2 Содержание обобщенной группы дефектов сварных соединений по типу пор, газовых полостей	16
2.1 Газовая полость	16
2.2 Газовая пора.....	17
2.3 Равномерно распределенная пористость	19
2.4 Скопление пор	21
2.5 Цепочка пор	22
2.6 Продолговатая газовая полость	24
2.7 Свищ	25
2.8 Поверхностная пора	27
2.9 Усадочная раковина	29
2.10 Кратер	30
3 Вопросы для самоконтроля	32
4 Список рекомендованных источников.....	34

Введение

Дефекты сварных соединений являются следствием неправильного выбора или нарушения технологического процесса изготовления сварной конструкции, применения некачественных сварочных материалов и низкой квалификации сварщика.

Цель настоящих методических указаний сводится к приобретению обучающимися навыков по выявлению дефектов и определению качества сварки различных элементов конструкций и оборудования внешним осмотром, а также с помощью диагностических приборов и лабораторного оборудования, имеющихся в арсенале Аэрокосмического института ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет».

Методические указания «Дефекты сварных швов и соединений. Часть 2. Поры, газовые полости» представляют собой продолжение серии методического обеспечения к дисциплинам «Современные методы оценки конструктивной и технологической прочности сварных соединений конструкций», «Техническая диагностика и контроль качества», «Расчет и проектирование сварных конструкций». В них достаточно подробно рассматриваются содержания всех обобщенных групп дефектов сварных соединений по различным типам. В результате освоения теоретического материала, представленного в полном комплекте данного методического сопровождения к дисциплинам, обучающиеся смогут в достаточной мере обладать знаниями, способствующими формированию компетенций, закрепленными за вышеуказанными дисциплинами.

В настоящих методических указаниях представлен достаточно большой объем иллюстративного материала, который может быть полезен не только обучающимся по программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.04.01 Машиностроение, по образовательным программам СПО специальности 15.02.08 Технология

машиностроения, а также для специалистов сварочного производства, и контролеров-дефектоскопистов различных уровней.

В указаниях приведены дефекты сварных швов и соединений в соответствии с ГОСТ 30242 (ИСО 6520-82). Классификация дефектов представлена в таблице 1. Название каждого дефекта представлено в виде его трехзначного цифрового обозначения (или четырехзначного обозначения его разновидности); а также буквенного обозначения согласно Классификации дефектов Международного института сварки (МИС). К каждому дефекту имеются:

- дополнения в виде их иллюстрированных изображений дефектов;
- пояснения допустимости дефекта;
- характеристики внешних признаков (при наличии);
- информация о причинах и процессе их возникновения;
- указания на способы предупреждения дефектов (как перед сваркой, так и во время сварки);
- возможные способы их обнаружения и устранения.

Таблица 1 – Классификация дефектов сварных соединений по группам

Группа дефектов	Содержание обобщенного типа дефектов сварных соединений
I	трещины
II	поры, газовые полости
III	твердые включения
IV	несплавления и непровары
V	нарушение формы шва
VI	прочие дефекты, не включенные в вышеперечисленные группы

Прежде чем приступить к анализу всех возможных дефектов, возникающих в сварных соединениях, необходимо уточнить некоторые понятия, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Термины и определения, наиболее применимые к сварным соединениям

Термин	Определение
1	2
Горячие трещины (ГТ)	хрупкое межкристаллитное разрушение металла шва, возникающее в твердожидком состоянии при завершении кристаллизации шва под действием сварочных напряжений
Дефект	несоответствие сварного шва или сварного соединения требованиям нормативной документации
Допустимый дефект	дефект, присутствие которого не ухудшает механических и эксплуатационных свойств сварного шва и разрешено нормативно-технической документацией
Зона термического влияния (ЗТВ)	участок, нагретый при сварке до температуры в интервале от 1300 °С до 2000 °С, в котором произошли структурные и механические изменения основного металла
Контроль качества	процесс проверки соответствия показателей качества сварных соединений и изделий требованиям нормативных документов
Кратер	усадочная раковина в конце валика сварного шва
Недопустимый дефект	дефект, наличие которого категорически запрещено нормативно-технической документацией
Оксидные включения	соединения кислорода с химическими элементами, например, $\text{SiO}_2 - \text{MnO} - \text{FeO}$; $\text{SiO}_2 - \text{MnO} - \text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{SiO}_2 - \text{FeO} - \text{Al}_2\text{O}_3$
Остаточная деформация	деформация, возникающая в сварном изделии к моменту его полного охлаждения
Погонная энергия	показатель сварочного процесса, представляющий собой отношение эффективной мощности источника теплоты к скорости сварки
Режим сварки	совокупность характеристик сварочного процесса, которые должны выполняться для получения сварного соединения
Свариваемость	технологическое свойство металлов или их сочетаний образовывать в процессе сварки соединения, отвечающие конструктивным и эксплуатационным требованиям к ним
Сварка плавлением	процесс сварки, при котором металл в зоне соединения находится в жидком состоянии при нагреве выше температуры плавления
Сварное соединение	совокупность трех участков сварного шва, зоны оплавления и зоны термического влияния
Сварной шов	участок сварного соединения, в пределах которого металл был расплавлен, а затем закристаллизовался

Продолжение таблицы 2

1	2
Сварочная ванна	объем металла, находящегося в расплавленном состоянии при сварке
Сварочные деформации	деформации, возникающие в сварной конструкции вследствие нагрева и охлаждения металла при сварке
Твердое включение	частица твердого инородного вещества в металле сварного шва. Такие включения могут быть шлаковыми, флюсовыми, оксидными и металлическими
Термический цикл	характер изменения температуры во времени в данной точке сварного соединения
Трещины основного металла (ТОМ)	трещины при производстве металлопроката, раскрывшиеся под действием термического цикла сварки
Флюс	вещество, вводимое в зону сварки для создания защиты дуги и сварочной ванны от воздуха, а также для металлургических процессов во время сварки
Холодные трещины (ХТ)	трещины, образующиеся в сварных соединениях преимущественно после охлаждения; возникают под действием сварочных напряжений
Шлак	стекловидный расплав на поверхности шва после затвердевания различных окислов, образующихся в результате металлургических процессов во время сварки
Эвтектика	механическая смесь кристаллов компонентов, образующаяся при затвердевании металла сварочной ванны и имеющая наиболее низкую температуру плавления по сравнению с металлом шва

Стойкость металла к образованию горячих трещин зависит от:

- величины и скорости нарастания действующих в период кристаллизации в металле шва растягивающих напряжений;
- химического состава металла шва и длительности его пребывания в состоянии пониженной пластичности;
- формы сварочной ванны;
- расположения межкристаллитных участков по отношению к растягивающим напряжениям;
- характера (темпа) и изменения упруго-пластической деформации.

Холодные трещины образуются в сварных соединениях при относительно невысоких температурах, когда металл шва и околошовной зоны приобретает высокие упругие свойства, такие трещины зарождаются, как правило, через некоторое время после окончания сварки и затем медленно, на протяжении нескольких часов и даже суток распространяются по длине и глубине.

Отсутствие дефектов соединений при сварке металлов плавлением – единственная гарантия надежности сварных соединений. Дефекты сварных швов уменьшают прочность и эксплуатационную надежность сварных соединений и могут привести к разрушению всей конструкции.

Причинами возникновения дефектов сварных швов являются нарушения технологического процесса при подготовке, сборке, сварке, термообработке соединяемых узлов, а также небрежностью и низкой квалификацией сварщика.

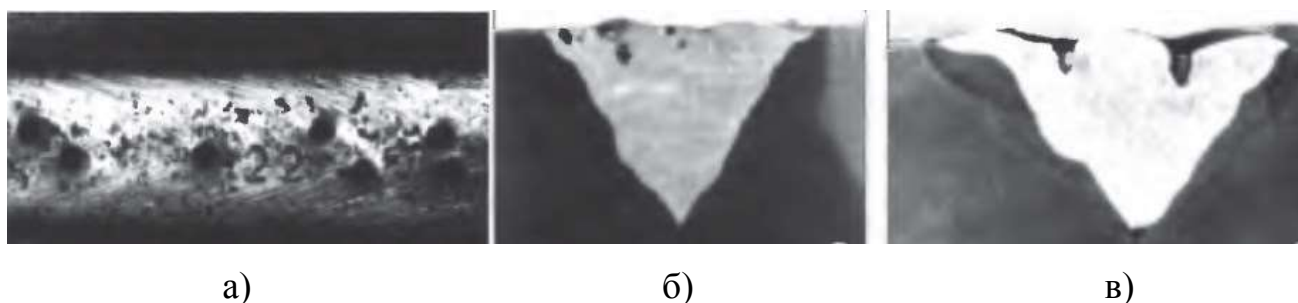
Классификация дефектов приведена в межгосударственном стандарте ГОСТ 30242-97 «Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначения и определения».

1 Поры в сварных швах

Порами называют заполненные газом полости в швах, имеющие округлую, вытянутую или более сложную форму. Они возникают при первичной кристаллизации металла сварочной ванны в результате выделения газов. Поры располагаются по оси шва или по его сечению, а также вблизи от границы сплавления.

При дуговой сварке поры выходят или не выходят на поверхность шва (рисунок 1.1), располагаются цепочкой по оси шва (рисунок 1.2, а) или отдельными группами (рисунок 1.2, б, в).

Поры, выходящие на поверхность шва, иногда называют **свищами** (рисунок 1.1, в).



а) выходящие на поверхность шва; б) не выходящие на поверхность шва;
в) свищи.

Рисунок 1.1 – Поры в металле шва

При электрошлаковой сварке и дуговой сварке с принудительным формированием поры не выходят на поверхность шва, что обусловлено более ранним затвердеванием примыкающей к формирующим устройствам части металла сварочной ванны. Поры могут быть микроскопическими (несколько микрон) и крупными (от 4 до 6 мм в поперечнике), например, такими, как на рисунке 1.3.

Выходящие на поверхность поры выявляются при внешнем осмотре. Поры, не выходящие на поверхность, выявляются теми же методами, что и не выходящие на поверхность трещины.



а)

б)

в)

- а) поры, выходящие на поверхность шва, внешний вид;
- б) поры, не выходящие на поверхность шва, макроструктура;
- в) групповое расположение пор при электродуговой сварке.

Рисунок 1.2 – Поры в металле шва (макроструктуры)

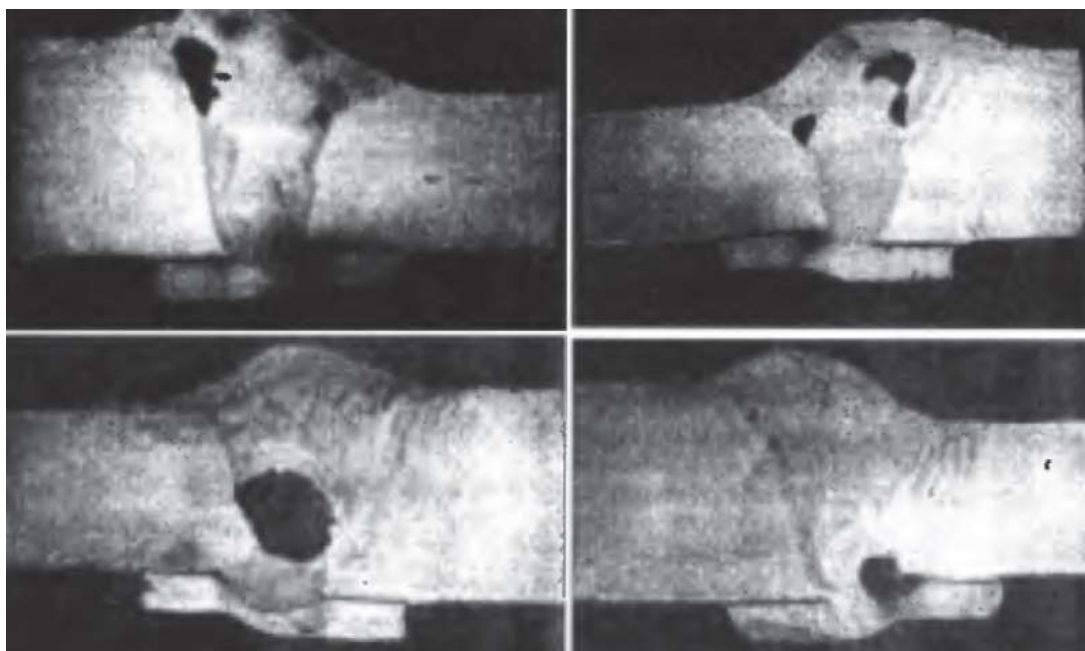


Рисунок 1.3 – Единичные поры в металле шва, макроструктура, x100

Поры – недопустимый дефект сварных швов для аппаратуры, работающей под давлением и под вакуумом или предназначенной для хранения и транспортировки жидких и газообразных продуктов. Для других конструкций

поры не являются столь серьезным дефектом, как трещины. Однако наличие пор при всех условиях нежелательно. Вопрос о допустимости пор решается в зависимости от условий эксплуатации конструкции.

Если образование и выделение газов при сварке происходит в период, когда металлическая ванна находится в жидком состоянии, и протекает интенсивно, то пузырьки газов успевают полностью выделиться. Их выделение не только не приводит к образованию пор, но оказывает рафинирующее действие на сварочную ванну, снижая ее газонасыщенность. Если же образование и выделение газов происходит в период затвердевания ванны и проходит вяло, пузырьки газа не успевают всплыть и остаются в металле в виде пор.

Образование пор в швах при создании стальных неразъемных соединений от выделения водорода и азота обусловлено резким снижением их растворимости в процессе затвердевания металла сварочной ванны. Находящиеся в жидком состоянии железо и его сплавы могут растворять значительные количества водорода и азота. По мере остывания металла растворимость этих газов снижается. При уменьшении температуры вплоть до температуры плавления растворимость снижается постепенно и образовавшиеся пузырьки свободно всплывают на поверхность жидкой ванны. При затвердевании металла снижение растворимости водорода и азота происходит скачкообразно. Например, при затвердевании низкоуглеродистой стали растворимость азота снижается в 4 раза, а водорода в 1,7 раза.

Более низкая растворимость водорода и азота в твердом металле по сравнению с растворимостью их в жидком металле ведет к обогащению расплава этими газами, что способствует зарождению газовых пузырьков на поверхности раздела жидкого и твердого металлов. При резком увеличении количества выделившегося газа не все пузырьки успевают всплыть на поверхность сварочной ванны, часть их остается в шве.

Поры от окиси углерода возникают при недостаточной раскисленности металла сварочной ванны. Растворенные в жидкой стали углерод и кислород реагируют между собой по реакции $[C] + [O] = CO$.

Образующаяся при этом окись углерода может давать начало зародышам газовой фазы или же выделяться в уже существующие пузырьки других газов. Для возникновения зародышей окиси углерода необходимы определенный избыток содержания углерода и кислорода над равновесным и благоприятные условия для зарождения газовой фазы.

В реальных условиях сварки пористость швов обычно вызывается совместным действием нескольких газов. Если в процессе затвердевания металла сварочной ванны сила внутреннего давления в газовом зародыше или пузырьке заметно превышает барометрическое давление, металл будет кипеть и в шве появятся поры. Сила внутреннего давления в газовом зародыше или пузырьке состоит из парциальных давлений отдельных газов.

Водород поступает в атмосферу дуги, а из нее в сварочную ванну из ржавчины, влаги и других загрязнений, находящихся на поверхности свариваемых кромок и присадочного металла, из защитного газа или из материалов, входящих в состав покрытия или флюса.

Уменьшить растворение водорода в металле сварочной ванны можно:

- ограничением доступа водорода и водяного пара в зону сварки;
- снижением парциального давления водорода и водяного пара в атмосфере дуги за счет связывания водорода во фторид HF и разбавления его другими газами;
- снижением растворимости водорода в жидком металле вследствие окисления или легирования последнего;
- уменьшением растворения водорода в металлической ванне технологическими способами (применением постоянного тока, изменениями режима сварки, применением соответствующих сварочных материалов);
- удалением водорода из металлической ванны при ее кипении; увеличением времени удаления водорода из металлической ванны.

Основным способом ограничения поступления водорода и водяного пара в зону сварки является очистка свариваемых кромок от ржавчины, влаги, масла, краски и других водородсодержащих веществ.

При низкой температуре кромки следует также очищать от инея и влаги и просушивать. Чтобы избежать концентрации влаги на свариваемых кромках, рекомендуется их нагревать до температуры 100 °С и выше.

Ржавчину, масло или краску можно выжигать кислородно-ацетиленовой горелкой или резаком.

Сварочную проволоку следует очищать от следов волоочильной смазки и других загрязнений, избегать операции травления проволоки при ее волочении (лучше производить светлый отпуск).

Сварочные электроды необходимо надежно упаковывать и хранить в сухом помещении.

Защитный газ следует применять с минимальной влажностью. Флюс должен быть хорошо прокален.

Азот поступает в зону сварки, а из нее в сварочную ванну из окружающей атмосферы, а также из расплавляемых основного и дополнительного металлов. Избежать пористости от азота можно путем ограничения растворения азота в жидком электродном металле и металлической ванне до величин, меньших растворимости азота в твердом металле; повышения растворимости азота в твердом металле; связывания азота в металле шва в стойкие нитриды.

Растворение азота в металле ограничивают применением газовой или шлаковой защиты зоны сварки от доступа воздуха. Кроме того, нужно исключить все другие возможности поступления азота в зону сварки. Содержание азота в основном металле и сварочной проволоке не должно превышать допустимого. Нельзя выполнять прихватки, монтажные и подварочные швы электродами со стабилизирующим покрытием или покрытыми электродами с отбитой обмазкой. Содержание азота в защитных газах должно быть минимальным.

Повышение растворимости азота в твердом металле и связывание его в стойкие нитриды требуют дополнительного легирования металла шва элементами, обладающими большим химическим сродством к азоту. К таким элементам принадлежат титан, алюминий, церий, цирконий и другие. Вводить в

металлическую ванну нитридообразующие элементы целесообразно лишь тогда, когда нет возможности ограничить доступ азота в зону сварки.

К металлургическим способам предупреждения пористости от азота принадлежит также дегазация жидкого металла при его кипении. В частности, этот способ применяют при сварке и наплавке под флюсом металла с повышенным содержанием азота. Для этого иногда используют сварочную проволоку с повышенным содержанием углерода.

Среди кислородных соединений окись углерода и водяной пар отличаются тем, что при температурах существования жидкой стали они находятся в газообразном состоянии. В связи с этим одной из важнейших задач раскисления сварочной ванны является предупреждение образования этих газов во время затвердевания металла. Чтобы избежать пористости от выделения газообразных кислородных соединений, в зону сварки вводят элементы с высоким химическим сродством к кислороду, образующие твердые или жидкие окислы. Соединяясь с кислородом, эти элементы тормозят реакции образования окиси углерода и водяного пара. Эффективность действия элементов-раскислителей характеризуется их раскислительной способностью, то есть их способностью снижать концентрацию кислорода в стали. Количество растворенного в жидком металле кислорода будет тем меньше, чем выше химическое сродство к кислороду данного элемента и больше его концентрация в расплаве. Небольшие присадки титана и алюминия могут подавлять реакцию образования окиси углерода в жидкой стали.

Кремний при достаточной его концентрации в расплаве также способен подавить образование окиси углерода. Раскисляющая сила углерода практически не изменяется с изменением температуры, тогда как раскисляющая сила кремния при снижении температуры возрастает. В равновесных условиях при температуре затвердевания стали кремний является лучшим раскислителем, чем углерод. Поэтому кремний способен остановить реакцию образования окиси углерода и успокоить кипение твердеющей стали.

Связанный с титаном, алюминием, кремнием и другими сильными раскислителями кислород уже не может взаимодействовать с углеродом.

При сварке плавлением раскисление осуществляется путем введения элементов-раскислителей в сварочную ванну из основного металла, сварочной проволоки, электродного покрытия, керамического флюса и тому подобное. При наличии достаточного количества сварочного шлака раскисление может осуществляться за счет восстановления кремния и марганца из шлаковой фазы.

На пористость швов существенно влияет скорость кристаллизации сварочной ванны. При большой скорости кристаллизации металла рост кристаллитов обгоняет рост и всплытие пузырька газа, и пузырек запутывается в металле, в результате чего образуется пора. Снижение скорости сварки, увеличение объема сварочной ванны, уменьшение теплоотвода в основной металл и увеличение его начальной температуры снижают скорость кристаллизации металла и уменьшают пористость швов. Некоторое влияние оказывает и форма сварочной ванны. Повышение значения коэффициента формы шва приводит к уменьшению вероятности возникновения пор, так как при этом улучшаются условия для всплытия пузырьков в результате выдавливающего действия растущих дендритов.

2 Содержание обобщенной группы дефектов сварных соединений по типу пор, газовых полостей

2.1 Газовая полость

Газовая полость (цифровое обозначение дефекта **200; А**) представляет собой полость произвольной, безугловой формы, образованную газами, задержанными в расплавленном металле. Принятие решения о допустимости дефекта зависит от условий эксплуатации сварной конструкции:

- дефект считается допустимым, если он выявлен в виде одиночного дефекта в неответственных металлических конструкциях;
- дефект считается недопустимым, если он выявлен в сварных швах ответственных конструкций, поднадзорных органам технического надзора.

Внешний вид и место локализации возможного образования газовых полостей в сварном шве представлены на рисунке 2.1.

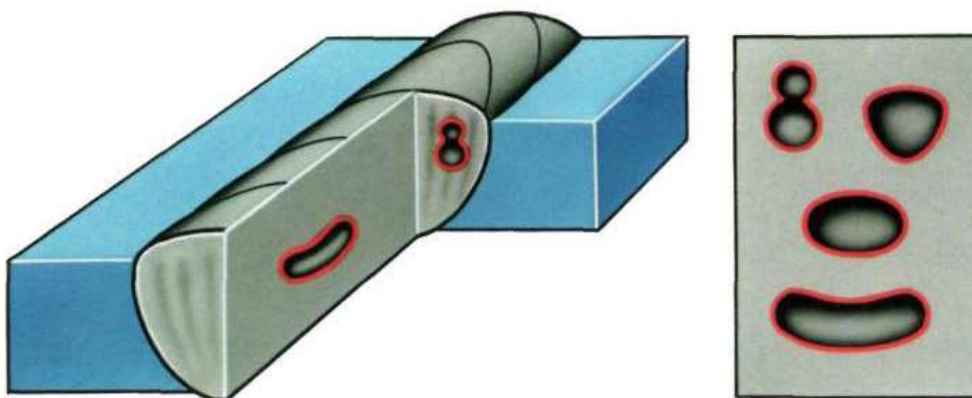


Рисунок 2.1 – Дефекты сварного шва по типу газовой полости

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

Процесс возникновения: в сварочной ванне образуются пузырьки водорода, азота, окиси углерода и других 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.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде газовых полостей иллюстративно представлены на схеме на рисунке 2.2.

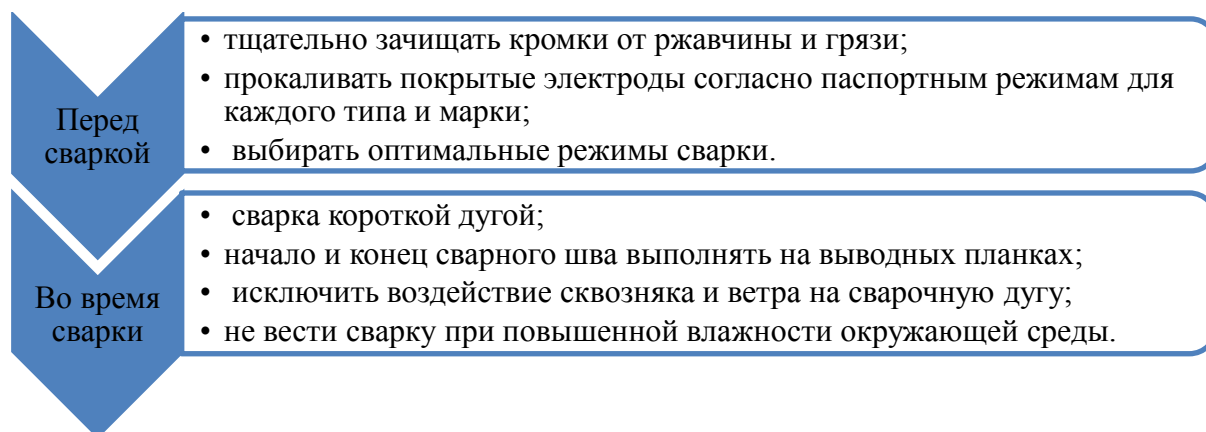


Рисунок 2.2 – Последовательность действий для предупреждения возникновения дефектов сварного шва в виде газовой полости

Способ устранения: дефектный участок вырубает или вычищают и вновь заваривают.

2.2 Газовая пора

Газовая пора (цифровое обозначение дефекта **2011; Аа**) представляет собой дефект в виде несплошности, образованной газами, задержанными в расплавленном металле. Газовая пора имеет, как правило, сферическую форму.

Принятие решения о допустимости дефекта зависит от условий эксплуатации сварной конструкции:

– дефект считается допустимым, если он представлен в виде одиночного дефекта малых размеров;

– дефект считается недопустимым, если он выявлен в ряде потенциально опасных конструкций, работающих в сложных условиях нагружения.

Внешний вид и место локализации возможного образования газовых пор в сварном шве представлены на рисунке 2.3.

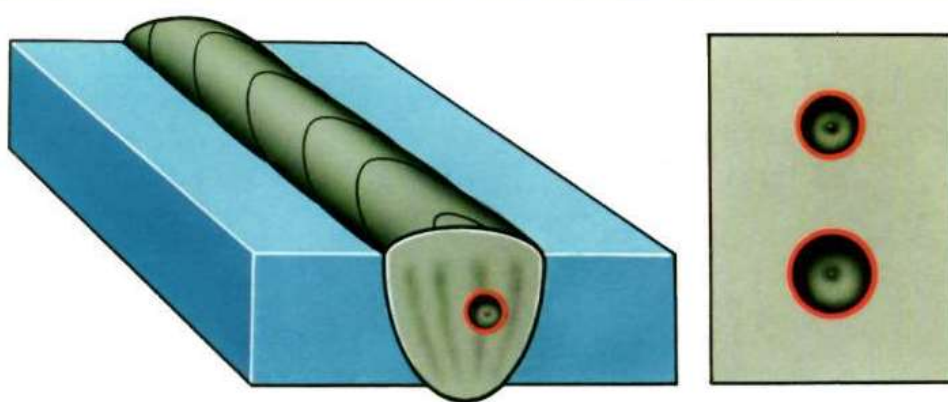


Рисунок 2.3 – Дефекты сварного шва по типу газовой поры

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

Процесс возникновения: в жидкой сварочной ванне образуются газовые пузырьки. Они фиксируются в расплавленном металле шва при его кристаллизации.

Причины возникновения:

- местные загрязнения свариваемых поверхностей органическими веществами или ржавчиной;
- неправильный выбор покрытого сварочного электрода;
- локальное нарушение оптимальных параметров режима сварки;
- сварка электродом с увлажненным покрытием;
- повышенная вязкость металла сварочной ванны.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде газовых пор иллюстративно представлены на схеме на рисунке 2.4.

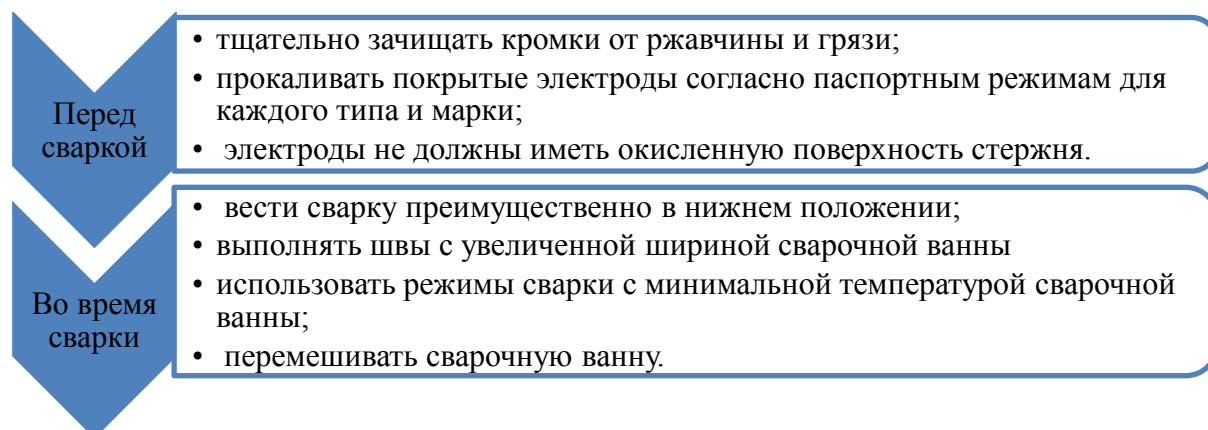


Рисунок 2.4 – Последовательность действий для предупреждения возникновения дефектов сварного шва в виде газовых пор

Способ устранения: дефектный участок вырубает или вычищают и вновь заваривают.

2.3 Равномерно распределенная пористость

Равномерно распределенная пористость (цифровое обозначение дефекта **2012; Aa**) представляет собой группу газовых пор, равномерно распределенных в металле сварного шва.

Дефект является недопустимым, так как снижает прочностные характеристики металла шва.

Внешний вид и место локализации возможного образования равномерно распределенных пористостей в сварном шве представлены на рисунке 2.5.

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

Процесс возникновения: газовые пузырьки образуются со скоростью меньшей, чем движется фронт кристаллизации. Пузырьки не успевают всплыть на поверхность сварочной ванны.

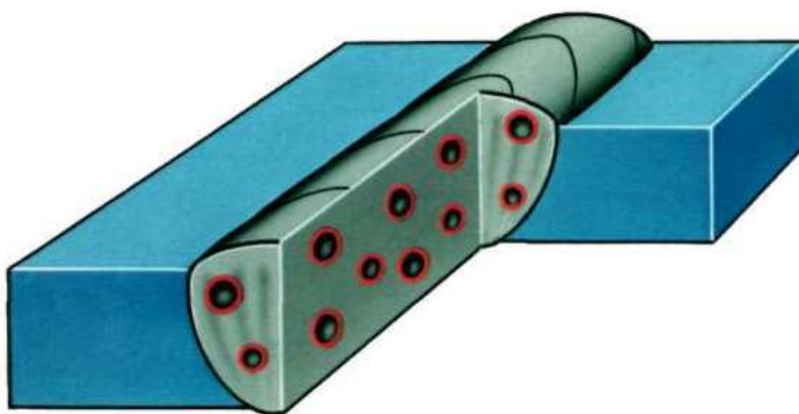


Рисунок 2.5 – Дефекты сварного шва по типу равномерно распределенных пористостей

Причины возникновения:

- плохая защита металла шва от растворения в нем водорода, азота и окиси углерода;
- применение металла с большим количеством растворенных газов;
- применение сварочных материалов, повышающих вязкость металла шва;
- сварка с глубоким проплавлением;
- однопроводная сварка толстостенных конструкций с большой скоростью.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде равномерно распределенных пористостей представлены на рисунке 2.6.

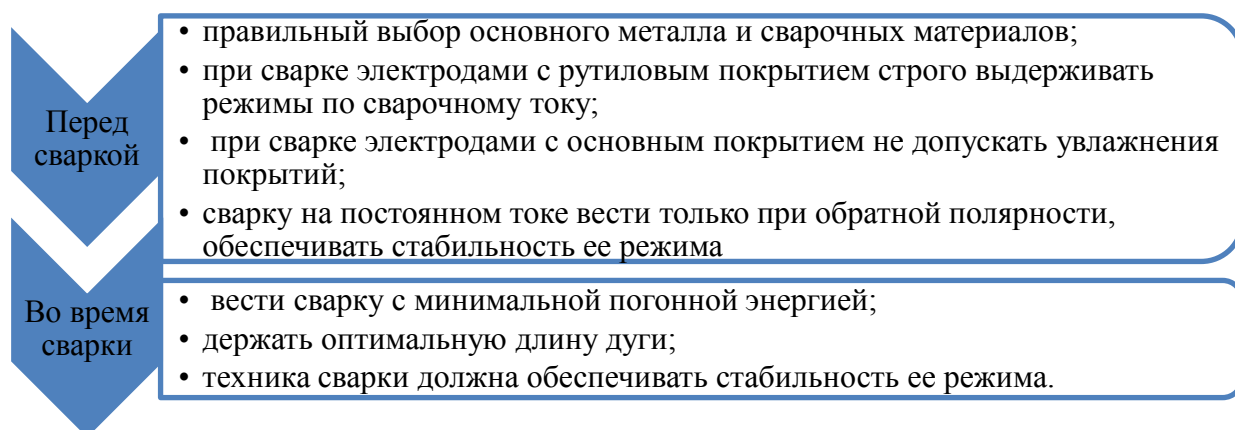


Рисунок 2.6 – Последовательность действий для предупреждения возникновения равномерно распределенных пористостей в сварном шве

Способ устранения: дефектный участок вырубает или вычищают и вновь заваривают.

2.4 Скопление пор

Скопление пор (цифровое обозначение дефекта **2013**) представляет собой группу газовых полостей (три и более), расположенных кучно, с шагом менее трех максимальных размеров наибольшей из них.

Дефект является недопустимым, так как является местным участком провала прочности шва и концентратором напряжения.

Внешний вид и место локализации возможного скопления пор в сварном шве представлены на рисунке 2.7.

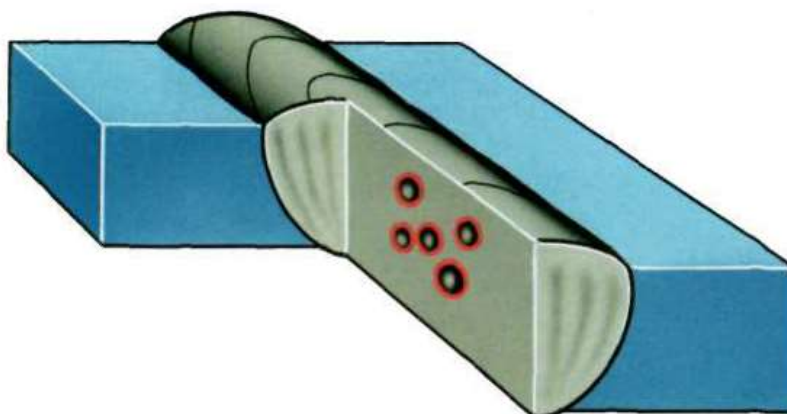


Рисунок 2.7 – Дефекты сварного шва по типу скопления пор

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

Процесс возникновения: жидкий металл сварочной ванны кристаллизуется быстрее, чем всплывают и лопаются на ее поверхности выделяющиеся пузырьки.

Причины возникновения:

- плохая газовая защита сварочной ванны, в частности, в начальный момент зажигания дуги (так называемая «стартовая пористость»);
- сварка по окисленным поверхностям конструкции;

- сварка длинной дугой;
- плохая прокалка электродов;
- покрытие электродов содержит избыток минеральных и органических пластификаторов.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде скопления пор представлены на рисунке 2.8.

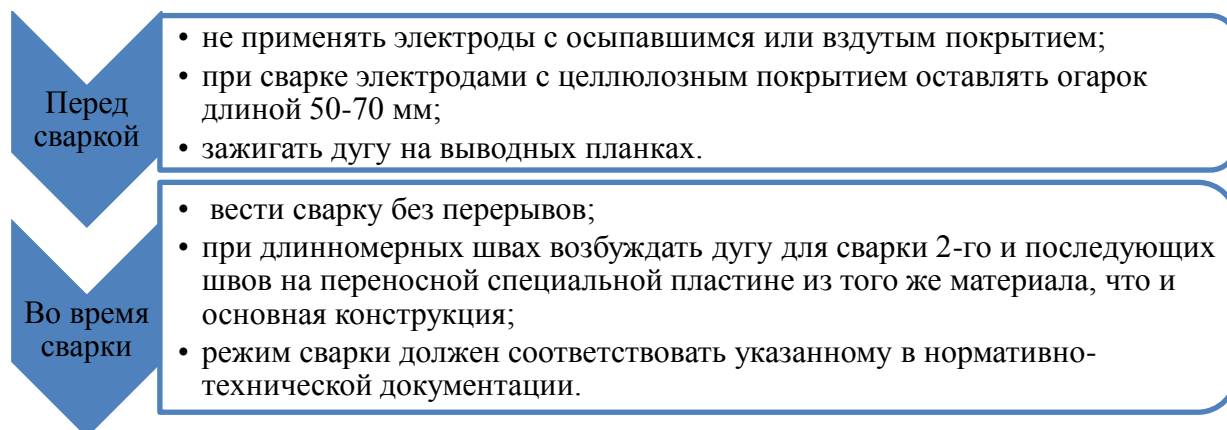


Рисунок 2.8 – Последовательность действий для предупреждения возникновения скопления пор в сварном шве

Способ устранения: дефектный участок вырубает или вычищают и вновь заваривают.

2.5 Цепочка пор

Цепочка пор (цифровое обозначение дефекта **2014**) представляет собой ряд газовых пор, расположенных в линию, обычно параллельно оси шва, с шагом менее трех максимальных размеров наибольшей из пор.

Дефект является недопустимым, так как может стать причиной развития других опасных дефектов, например, трещин.

Внешний вид и место локализации возможного дефекта в сварном шве в виде цепочки пор представлены на рисунке 2.9.

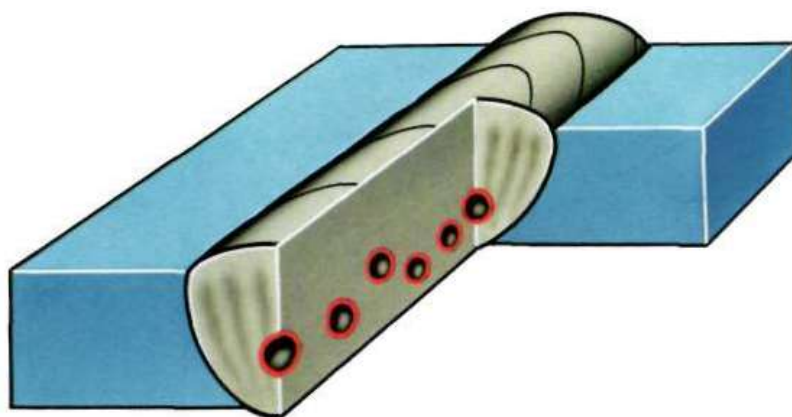


Рисунок 2.9 – Дефекты сварного шва по типу цепочки пор

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

Процесс возникновения: кристаллизация металла сварочной ванны периодически опережает всплытие газовых пузырьков.

Причины возникновения:

- неоптимальная конфигурация сварного шва;
- неправильный режим сварки;
- сварка в узкую разделку;
- сварка металла большой толщины на режимах с повышенной погонной энергией;
- подсос воздуха через зазор между кромками;
- подварка корня шва некачественными электродами;
- плохая зачистка соединения.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде образования цепочки пор представлены на рисунке 2.10.

Способ устранения: дефектный участок вырубает или вычищают и вновь заваривают.

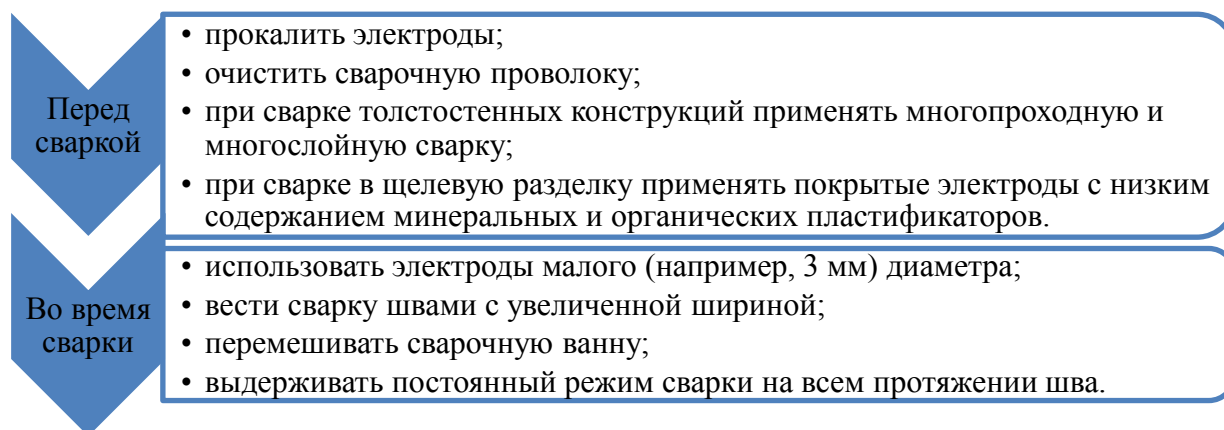


Рисунок 2.10 – Последовательность действий для предупреждения возникновения цепочки пор в сварном шве

2.6 Продолговатая газовая полость

Продолговатая газовая полость (цифровое обозначение данного вида дефекта **2015; Ab**) представляет собой дефект сварного шва в виде несплошности, вытянутой вдоль оси сварного шва. Длина несплошности, как правило, должна не менее, чем в 2 раза, превышать высоту.

Дефект является недопустимым, так как при действии малоцикловых рабочих нагрузок полость может стать причиной образования трещин.

Внешний вид и место локализации возможного дефекта в сварном шве в виде продолговатой газовой полости представлены на рисунке 2.11.

Внешние признаки отсутствуют, так как дефект находится внутри сварного шва. Продолговатые газовые полости обнаруживают методом неразрушающего контроля.

Процесс возникновения: при зарождении пузырька на границе твердого и жидкого металла давление в нем ниже атмосферного, поэтому пузырек не может всплыть. В результате образуется полость из нескольких объединенных пузырьков.

Причины возникновения:

- наличие на поверхности металла отдельных мест, которые насыщены газами;
- остатки ржавчины на поверхности свариваемых кромок;

– высокая вязкость металла сварочной ванны.

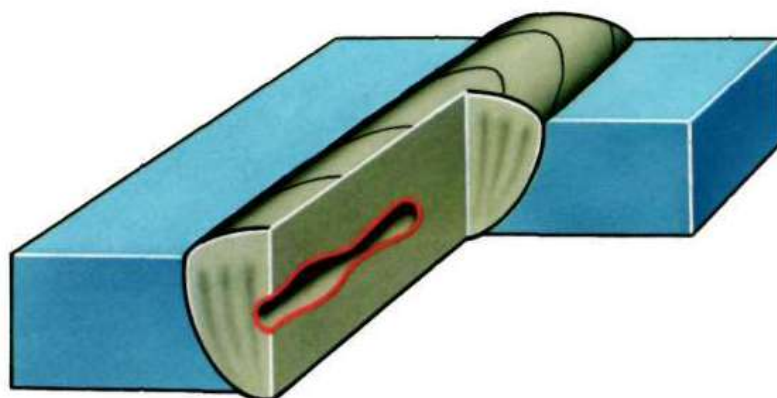


Рисунок 2.11 – Дефекты сварного шва по типу продолговатой газовой полости

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде образования продолговатой газовой полости представлены на рисунке 2.12.

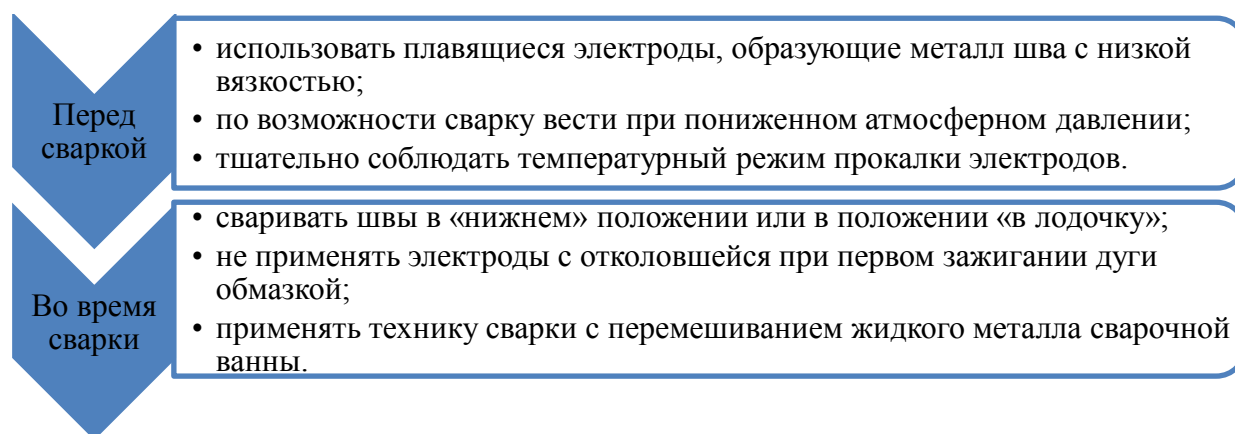


Рисунок 2.12 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве продолговатой газовой полости

Способ устранения: дефектный участок вырубают или вычищают и вновь заваривают.

2.7 Свищ

Свищ (цифровое обозначение дефекта **2016; Ab**) представляет собой трубчатую полость в металле сварного шва из-за выделений газа. Форма и

положение свища зависят от режима затвердевания металла и вида применяемого при сварке газа. Обычно свищи скапливаются и распределяются «елочкой».

Дефект является недопустимым, так как свищ является концентратором напряжения.

Внешний вид и место локализации возможного дефекта в сварном шве в виде свища представлены на рисунке 2.13.

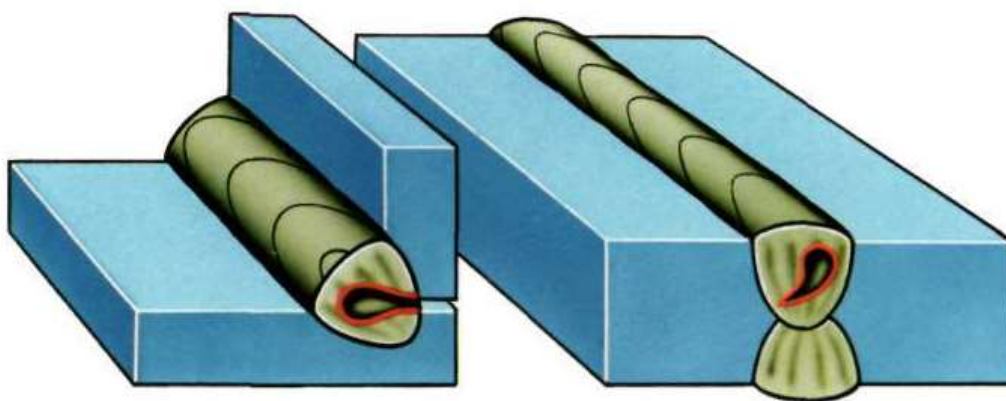


Рисунок 2.13 – Дефекты сварного шва по типу свища

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

Процесс возникновения: 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.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде свища представлены на рисунке 2.14.

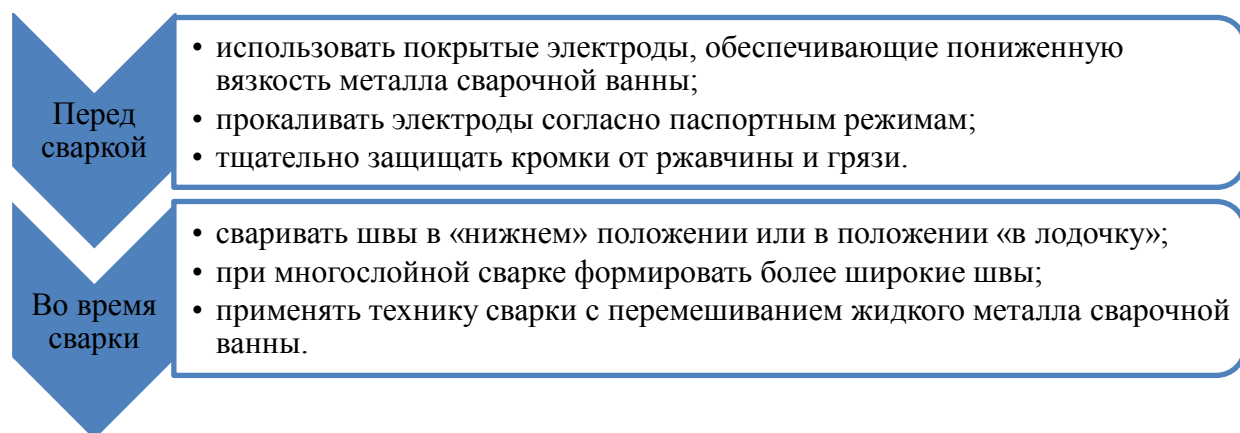


Рисунок 2.14 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве дефекта в виде свища

Способ устранения: дефектный участок вырубает или вычищают и вновь заваривают.

2.8 Поверхностная пора

Поверхностная пора (цифровое обозначение дефекта **2017**) представляет собой дефект сварного шва по типу газовой поры, нарушающей сплошность поверхности сварного шва.

Дефект считается допустимым после зачистки поверхности шва, не приводящей к изменению его геометрии.

Внешний вид и место локализации возможного дефекта в сварном шве в виде поверхностной поры представлены на рисунке 2.15.

Способ выявления: дефект виден невооруженным глазом или через лупу небольшого (от двух до четырех кратного) увеличения при визуальном контроле.

Процесс возникновения дефекта: поры чаще всего представляют собой не успевшие выделиться до затвердевания металла пузырьки водорода, азота,

водяного пара и окиси углерода. Основные возбудители подобных пор при сварке сталей – водород и азот. Из-за высокой вязкости шлака на поверхности сварочной ванны газовый пузырек не может всплыть и кристаллизуется в виде полости на поверхности сварного шва.

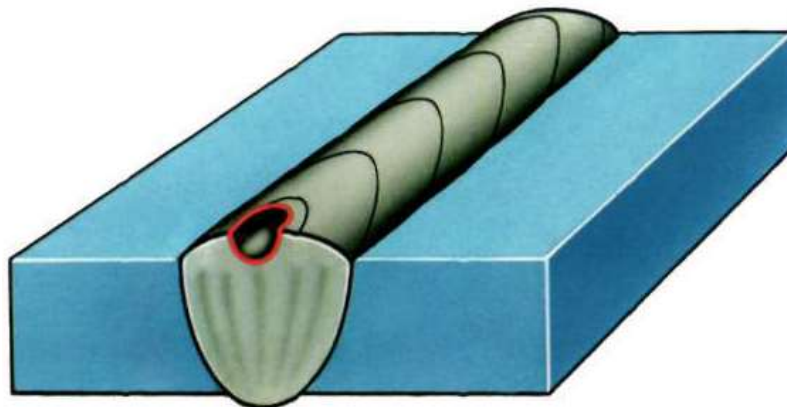


Рисунок 2.15 – Дефекты сварного шва по типу поверхностной поры

Причины возникновения:

- повышенная вязкость шлака, расположенного на поверхности жидкой сварочной ванны;
- повышена влажность электрода;
- грязь на сварочной проволоке;
- плохая зачистка места соединения.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде поверхностной поры представлены на рисунке 2.16.

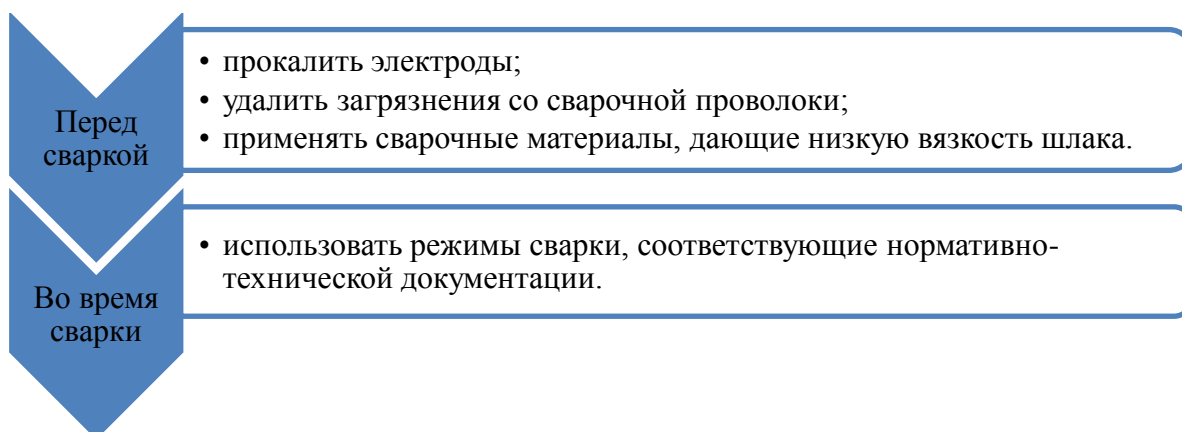


Рисунок 2.16 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве дефекта в виде поверхностной поры

Способ устранения: удалить поверхностный слой абразивным инструментом, не нарушая требуемых размеров шва.

2.9 Усадочная раковина

Усадочная раковина (цифровое обозначение дефекта **202; R**) представляет собой дефект сварного шва в виде полости, образующейся вследствие усадки металла во время его затвердевания.

Принятие решения о допустимости дефекта зависит от условий эксплуатации сварной конструкции:

- дефект считается допустимым, если он выявлен в виде одиночного дефекта в металлических конструкциях неответственного назначения;
- дефект считается недопустимым, если он выявлен в сварных швах ответственных конструкций, поднадзорных органам технического надзора.

Внешний вид и место локализации возможного дефекта в сварном шве в виде усадочной раковины представлены на рисунке 2.17.

Способ выявления: дефект виден невооруженным глазом или через лупу небольшого (от двух до четырех кратного) увеличения при визуальном контроле.

Процесс возникновения: под действием дуги зеркало сварочной ванны деформируется, приобретая вогнутый вид. При внезапном обрыве дуги оно не успевает выпрямиться и затвердевает в форме впадины.

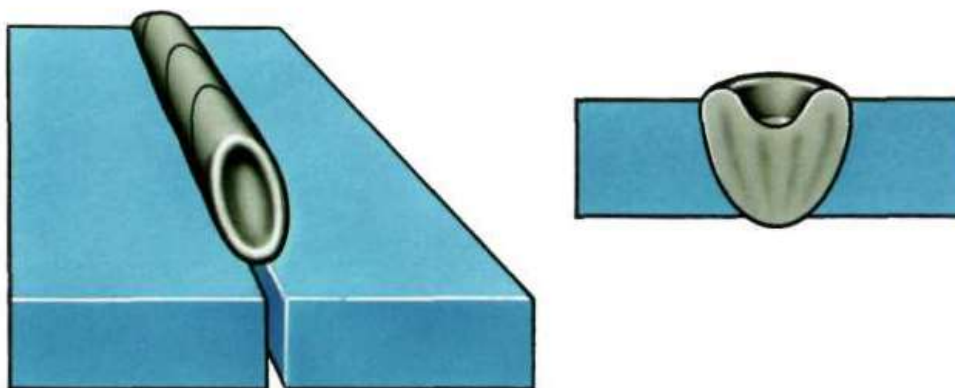


Рисунок 2.17 – Дефект сварного шва по типу усадочной раковины

Причины возникновения: внезапный обрыв сварочной дуги; некачественная заварка кратера.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде усадочной раковины представлены на рисунке 2.18.

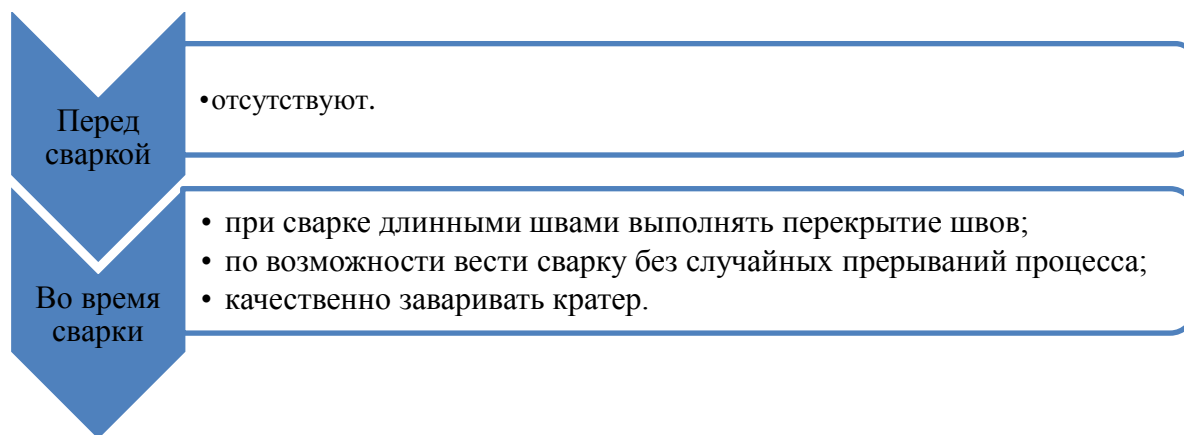


Рисунок 2.18 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве дефекта в виде усадочной раковины

Способ устранения: удалить усадочную раковину абразивным инструментом и вновь заварить.

2.10 Кратер

Кратер (цифровое обозначение дефекта **2024; К**) представляет собой дефект в виде усадочной раковины в конце валика сварного шва, не заваренной до или во время выполнения последующих проходов.

Дефект является недопустимым, поскольку кратер является очагом развития трещин.

Внешний вид и место локализации возможного дефекта в сварном шве в виде кратера представлены на рисунке 2.19.

Способ выявления: дефект виден невооруженным глазом или через лупу небольшого (от двух до четырех кратного) увеличения при визуальном контроле.

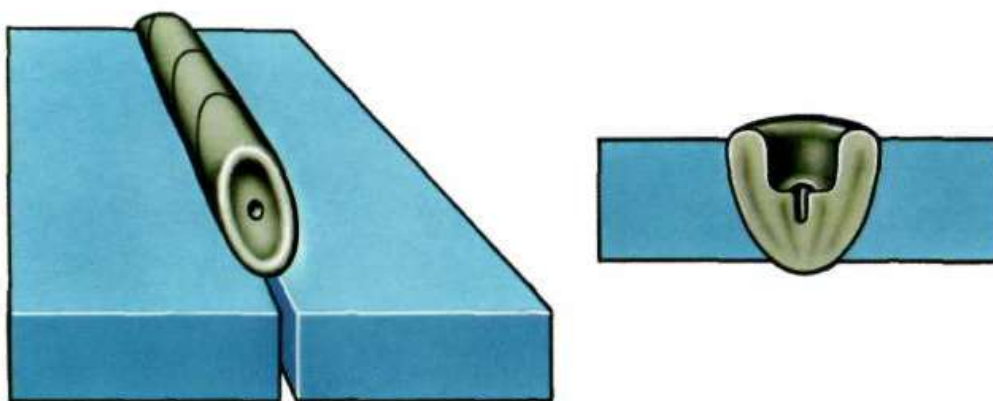


Рисунок 2.19 – Дефект сварного шва по типу кратера

Процесс возникновения: при внезапном прекращении процесса сварки происходит мгновенная кристаллизация жидкого металла сварочной ванны. В сварном шве образуется углубление с впадиной в центре.

Причины возникновения: внезапное прекращение процесса сварки без заварки кратера.

Способы предупреждения возникновения дефекта в виде кратера представлены на рисунке 2.20.

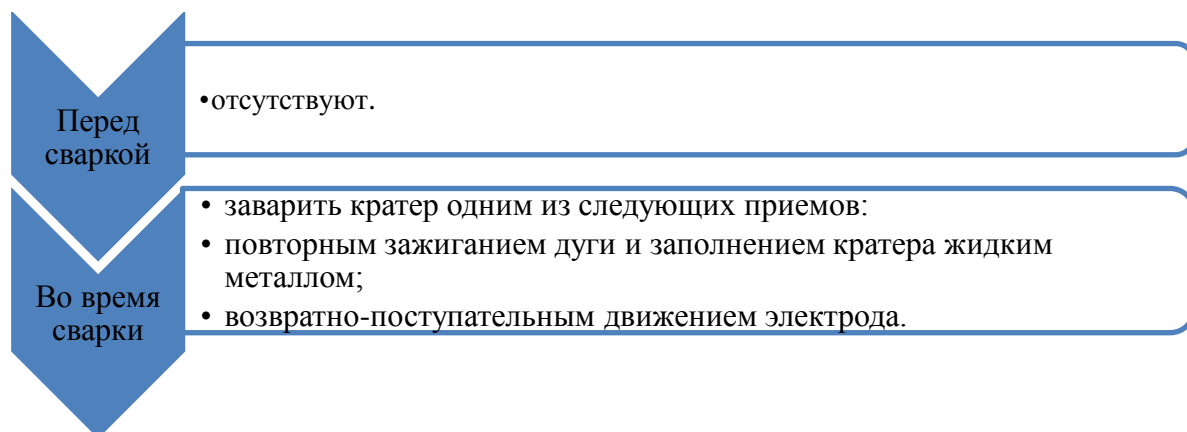


Рисунок 2.20 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве дефекта в виде кратера

Способы устранения – повторно заварить кратер.

3 Вопросы для самоконтроля

1. Назовите нормативно-техническую документацию контроля качества сварных соединений.
2. Назовите критерии оценки качества групп дефектов.
3. Что такое дефект сварного соединения?
4. Какие дефекты бывают в сварном шве?
5. Какие могут быть причины образования дефектов в сварных соединениях?
6. На какие группы классифицированы дефекты сварных соединений?
7. Дайте определения допустимого и недопустимого дефектов.
8. Дайте определение понятию «пора сварного соединения».
9. Назовите основные причины порообразования в сварных швах.
10. Поясните основные закономерности цифрового и буквенного обозначения дефектов согласно Классификации дефектов Международного института сварки (МИС).
11. Какие виды дефектов являются наиболее опасными для эксплуатации?
12. Выделение каких газов при первичной кристаллизации металла сварочной ванны обуславливает образование пор в сварных швах при создании стальных неразъемных соединений?
13. На что влияет раскисленность металла сварочной ванны?
14. Перечислите способы ограничения поступления водорода и водяного пара в зону сварки.
15. Перечислите металлургические способы предупреждения пористости в сварных швах.
16. Какими методами контроля выявляются газовые полости?
17. На каких участках зоны сварного соединения могут располагаться газовые полости?
18. Расскажите о способах предупреждения возникновения дефектов в виде газовых пор.

19. Какие известны причины возникновения дефектов сварного шва по типу равномерно распределенной пористости?
20. Какие способы предупреждения возникновения дефектов в виде скопления и цепочек пор известны сварщикам?
21. Что называется продолговатой газовой полостью? Поясните процесс возникновения такого дефекта.
22. Что называется свищем? Какие известны причины возникновения свищей в сварном шве?
23. Поясните процесс и причины возникновения поверхностных пор в сварном шве.
24. Поясните процесс возникновения кратера в усадочной раковине. Расскажите о способах предупреждения возникновения дефекта в виде кратера.
25. Что влияет на принятие решения о допустимости дефекта в виде усадочной раковины? Где основное место локализации таких дефектов сварных соединений?

4 Список рекомендованных источников

1. Винокуров, В. А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / В. А. Винокуров, Г. А. Николаев ; под ред. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1996. – 576 с., ил.
2. Корчагин, И. Б. Проектирование сварных конструкций : учебное пособие / И. Б. Корчагин. – Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т, 2004. – 140 с.
4. Николаев, Г. А. Сварные конструкции. Прочность и деформации конструкций : учебное пособие / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров. – М. : Высшая школа, 1982. – 272 с.
5. Окерблом, Н. О. Конструктивно-технологическое проектирование сварных конструкций / Н. О. Окерблом. – М.-Л. : Машиностроение, 1964. – 420 с., ил.
6. Пояркова, Е. В. Прочность сварных конструкций : учебное пособие / Е. В. Пояркова, Л. С. Диньмухаметова, Ж. Г. Калеева. – Орск : Изд-во Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ОГУ, 2012. – 222 с.
7. Пояркова, Е. В. Лабораторно-практические возможности исследования сварных соединений [Электронный ресурс] : методические указания для обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение / Е. В. Пояркова. – Оренбург : ОГУ. – 2017. – Загл. с тит. экрана. – Режим доступа: http://artlib.osu.ru/web/books/metod_all/36309_20170426.pdf
8. ИСО 6520-82. Классификация дефектов швов при сварке металлов плавлением (с пояснениями).
9. ГОСТ 6996–66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. – Введ. 01.01.66. – М. : Изд-во стандартов, 1966. – 28 с.
10. Волченко, В. Н. Контроль качества сварки : учеб. пособие для машиностроительных вузов / В. Н. Волченко [и др.]; под. ред. В. Н. Волченко. – М. : Машиностроение , 1975. – 328 с.
11. Пояркова, Е. В. Диагностика повреждений металлических материалов и конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е. В. Пояркова, С. Н. Горелов. – 2-е изд. – Москва : Флинта. – 2015. – 202 с. – Загл. с тит. экрана.