

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 3
Твердые включения**

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 3. Твердые включения: методические указания / Е. В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2018. – 30 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 Дефекты сварных соединений и причины образования.....	9
1.1 Включения в сварном шве	11
1.2 Вольфрамовые включения	13
1.3 Неметаллические включения в сварных швах	14
1.3.1 Оксидные включения.....	14
1.3.2 Сульфидные включения	16
1.3.3 Фосфорсодержащие включения	18
1.3.4 Нитридные включения	19
2 Содержание обобщенной группы дефектов сварных соединений по типу твердых включений	20
2.1 Шлаковое включение.....	21
2.2 Флюсовое включение.....	23
2.3 Оксидное включение	25
2.4 Металлическое включение.....	26
3 Вопросы для самоконтроля	28
4 Список рекомендованных источников.....	30

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 3. Твердые включения» 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 сверки 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 Дефекты сварных соединений и причины их образования

Во время сваривания металлических деталей периодически возникают ситуации, когда шов может получиться не таким, как это должно быть по инструкции. Существуют различные виды отклонений и брака, которые могут сделать соединение непригодным для эксплуатации. Иногда возникают дефекты сварных швов и соединений, после которых детали не допускаются в работу, так как эти проблемные места снижают технические характеристики изделия. Они не смогут выдерживать запланированные нагрузки. Чтобы все не закончилось трагедией, перед использованием полученные швы проходят специальную проверку.

Существуют допустимые дефекты сварных соединений, величина и род которых не смогут повлиять на характеристики достаточно сильно, но есть и те, которые категорически недопустимы. Чтобы шов был максимально качественным, его состав должен полностью совпадать с составом основного металла. Чем больше будет различий, тем меньше станет прочность соединения.

Во время образования сварочной ванны и формирования валика шва внутри расплавленного металла могут попадать различные посторонние предметы и элементы, которые нарушат целостность структуры. Если в наплавленном металле появляются из-за этого пустоты, включения, вкрапления посторонних веществ, поры и прочие включения, то такие дефекты сварных швов становятся серьезной причиной, чтобы не допустить их к использованию. Пример образовавшихся дефектов в сварном шве представлен на рисунке 1.1.

Для определения наружных и скрытых дефектов используются разнообразные методы, для которых может потребоваться особое оборудование. Механические испытания сварных соединений показывают все недостатки созданных деталей. Дефекты сварных швов проверяются по ГОСТ 30242-97 – Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения.



Рисунок 1.1 – Пример дефектов сварного шва

Чаще всего встречаются такие виды дефектов как неравномерность валика, неполномерность шва, раковины и крупная чешуйчатость. При использовании автоматической сварки причинами возникновения брака могут стать:

- проскальзывание проволоки в держателе;
- скачки в параметрах электросети;
- люфты механизма подачи;
- сдвиг угла наклона электрода;
- затекание в зазор расплавленного металла.

При работе вручную нередко возникают проблемы, связанные с человеческим фактором. Рассматривая дефекты сварных швов и причины их образования, стоит отметить следующее: во время точечной сварки, которая проводится под давлением, часто возникают неравномерность шага точек, смещение осей стыкуемых деталей и вмятины от силового воздействия (пример вмятины представлен на рисунке 1.2).



Рисунок 1.2 – Вмятина при точечной сварке

1.1 Включения в сварном шве

По определению, *включение* представляет собой попавшее инородное твердое вещество, – к примеру, шлак, флюс, вольфрам или оксид. Таким образом, термин «*включение*» может относиться как к металлическим, так и к неметаллическим веществам. Как следует из названия, шлаковые включения представляют собой области сечения шва или области, расположенные на поверхности шва, где расплавленный флюс, применявшийся для защиты расплавленного металла, оказывается физически захваченным в застывшем металле. Такой затвердевший флюс или шлак образует участок сечения сварного шва, на котором не произошло сплавление металла. Это может ослабить данный участок, что отрицательно повлияет на пригодность к эксплуатации данной конструкции. Хотя принято считать, что шлаковые включения находятся под поверхностью в зоне сечения сварного шва, в некоторых случаях их можно наблюдать и на поверхности шва.

Как и непровар, шлаковые включения встречаются на участке между металлом сварного шва и основным металлом, или между отдельными наплавленными валиками. Фактически, шлаковые включения часто образуются в связи с непроваром. Шлаковые включения появляются только в тех случаях, когда технология сварки предусматривает использование какого-либо защитного флюса. Чаще всего шлаковые включения образуются по причине применения сварщиком ненадлежащих методов выполнения работ. Неправильное обращение со сварочным электродом и недостаточная очистка в интервалах между проходами могут привести к появлению шлаковых включений. Зачастую ненадлежащее обращение с электродом или неверные параметры сварки служат причиной формирования неправильного профиля шва, препятствующего очистке от шлаков в интервале между проходами. При продолжении сварки захваченный шлак покрывается наплавленным металлом. Что приводит к образованию шлакового включения.

Максимальный размер включения a – наибольшее расстояние между точками внешнего контура включения. Дефект изображен на рисунке 1.3.

Максимальная ширина включения b – наибольшее расстояние между двумя точками внешнего контура включения, измеренное в направлении, перпендикулярном максимальному размеру включения. Примеры определения размеров дефектов представлены на рисунке 1.3.

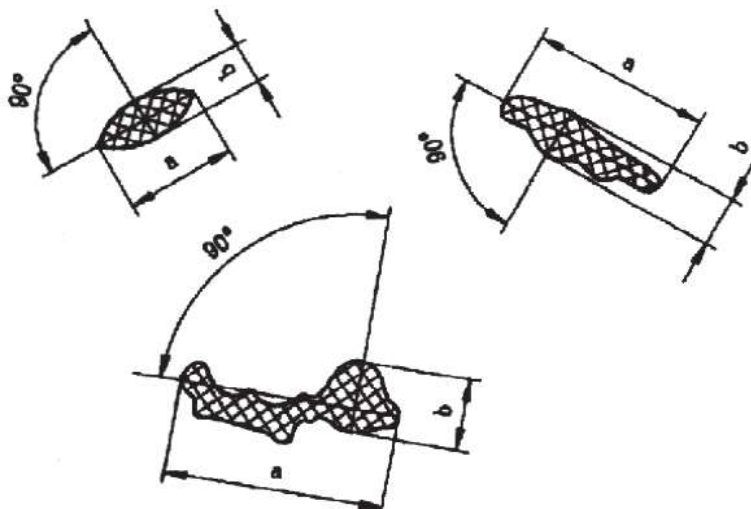


Рисунок 1.3 – Примеры определения размеров включений в сварном шве

Включение одиночное – включение, минимальное расстояние l , от края которого до края любого соседнего включения – не менее максимальной ширины каждого из двух рассматриваемых включений, но не менее трехкратного максимального размера включения с меньшим значением этого показателя (из двух рассматриваемых). Пример дефекта по типу одиночного включения в сварном шве изображен на рисунке 1.4.

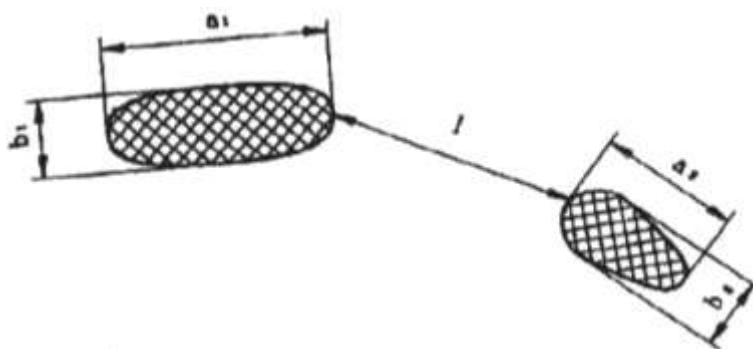


Рисунок 1.4 – Примеры одиночных включений в сварном шве

Скопление включений – два или несколько включений (шлаковых, вольфрамовых и прочих включений), минимальное расстояние между краями которых менее установленных для одиночных включений, но не менее максимальной ширины каждого из любых двух рассматриваемых соседних включений. Примеры дефектов по типу скопления включений в сварном шве изображены на рисунке 1.5.

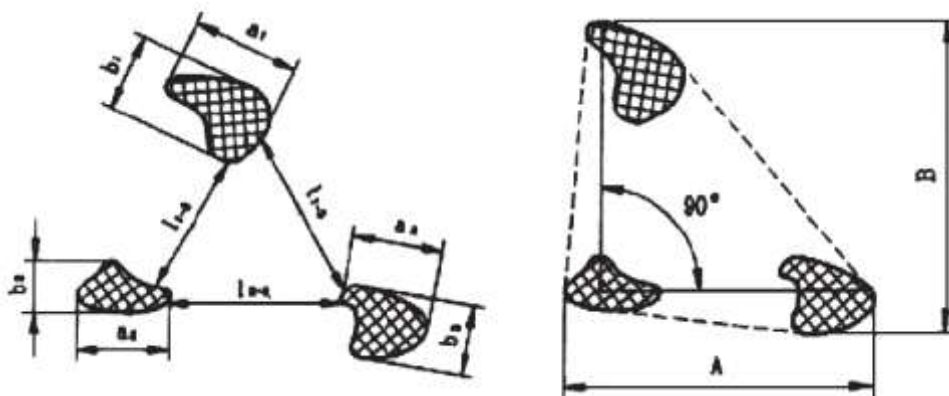


Рисунок 1.5 – Примеры скопления включений в сварном шве

1.2 Вольфрамовые включения

Так как плотность шлака гораздо ниже плотности металла, на радиографическом изображении шлаковые включения обычно выглядят как относительно темные участки неправильной формы. Однако, некоторые покрытые сварочные электроды образуют шлаки приблизительно такой же плотности, как и у металла. Как и следовало ожидать, шлаковые включения, образующиеся в результате использования таких электродов, крайне сложно выявить неразрушающим методом контроля (например, при помощи радиографии).

Включения вольфрама почти всегда образуются в результате дуговой сварки неплавящимся электродам в среде инертного защитного газа, когда для получения дуги используют вольфрамовый электрод. Если вольфрамовый электрод входит в соприкосновение с расплавленной сварочной ванной, дуга может погаснуть, а расплавленный металл застывает на конце электрода. При

удалении конец электрода может отломиться и остаться в металле выполненного шва, если его не удалить методами шлифования.

Вольфрамовые включения образуются и в том случае, если значение сварочного тока, применяемого при дуговой сварке неплавящимся электродам в среде инертного защитного газа, превышает рекомендованное значение для электродов данного диаметра. В этом случае плотность тока может быть настолько высокой, что электрод начинает распадаться, и его фрагменты могут попасть в металл сварного шва. То же самое происходит, если сварщик недостаточно тщательно отшлифовал наконечник вольфрамового электрода.

Включения вольфрама редко обнаруживаются на поверхности сварочного шва, кроме случаев, когда инспектор по сварке проверяет промежуточные слои после попадания вольфрама. Основной способ обнаружения вольфрамовых включений заключается в использовании метода радиографии. Поскольку плотность вольфрама значительно превышает плотность стали и алюминия, на радиографической пленке вольфрам будет виден в виде четко обозначенной светлой зоны.

1.3 Неметаллические включения в сварных швах

Неметаллические включения не относятся к числу дефектов сварных швов, регламентируемых ГОСТ 30242-97, но оказывают заметное влияние на их качество и свойства сварного соединения. Рассмотрим различные типы неметаллических включений, встречающихся в сварных швах неразъемных соединений, полученных из углеродистых сталей.

1.3.1 Оксидные включения

В металле шва может содержаться до 0,1 % кислорода, находящегося в виде неметаллических оксидных или смешанных включений. Химический и минералогический составы этих включений зависят от химического состава металла шва. При низком содержании кремния и марганца в металле шва и

отсутствии других легирующих элементов оксидные включения содержат в основном FeO, остальное – SiO₂ и MnO.

При повышении содержания кремния и марганца в металле шва заметно увеличиваются концентрации окислов этих элементов в составе оксидных включений, соответственно уменьшается содержание в них окислов железа. Общее количество оксидных включений в шве при этом также уменьшается. С увеличением соотношения [% Si) : [% Mn] в металле шва содержание SiO₂ во включениях растет, а MnO уменьшается.

Введение алюминия в металл шва уменьшает общее количество оксидных включений и ведет к появлению в их составе герцинита FeO-Al₂O₃. Дальнейшее повышение содержания алюминия сопровождается образованием включений глинозема Al₂O₃.

При наличии хрома в шве образуются включения хромита FeO-Cr₂O₃; продуктом раскисления сварочной ванны ванадием является окись ванадия V₂O₃. Низкая концентрация титана в металле шва ведет к образованию включений титаната железа FeO-Ti₂O₃, при высоком его содержании образуется оксид титана Ti₂O₃.

Выявленные в швах ручной дуговой сварки оксидные включения по минералогическому составу можно разделить на следующие главные типы:

1) смешанные железо-марганцевые оксиды, представляющие собой непрозрачные включения преимущественно шарообразной формы. Их образованию способствует высокая окисленность металла шва при низком содержании кремния и отсутствии других активных раскислителей;

2) железо-марганцевые силикаты, имеющие вид полупрозрачных округлых включений с вкраплениями темных частиц;

3) стекловидный кремнезем (прозрачные частицы шарообразной или неправильной формы), встречается преимущественно в хорошо раскисленных кремнием швах.

При сварке под флюсом вид и состав оксидных включений зависят от состава флюса. В швах, сваренных под высококремнистыми марганцевыми флюсами, включения преимущественно представлены высококремнистыми и

железо-марганцевыми силикатами. Это округлые, прозрачные и сравнительно крупные (от 0,002 до 0,02 мм) оксидные включения. Кроме того, в таких швах много межкристаллитных силикатных пленок. Как правило, пленки расположены на границах между кристаллитами металла шва и иногда сливаются с круглыми оксидными включениями.

При высококремнистых безмарганцевых флюсах во включениях преобладают округлые бесцветные выделения стекловидного кремнезема, наблюдаются и межкристаллитные силикатные пленки.

В швах, сваренных под низкокремнистыми и бескремнистыми флюсами, основную массу включений составляют алюмосиликаты и шпинели. При сварке в защитных газах вид и состав оксидных включений определяются химическим составом металла шва и содержанием в нем кислорода. Кроме перечисленных видов включений встречаются и другие. Оксидные включения часто имеют неоднородный минералогический состав, они также могут образовывать сложные кислородсодержащие включения, например, оксисульфиды.

Оксидные включения и силикатные пленки снижают ударную вязкость и хладостойкость металла шва на углеродистых и низколегированных сталях. В аустенитных швах силикатные пленки уменьшают пластичность металла шва при испытаниях на растяжение и изгиб, не влияя, однако, на величину ударной вязкости.

1.3.2 Сульфидные включения

В сварных швах на стали обычно содержится от 0,02 до 0,04 % S, образующей сульфидные включения. На нетравленых шлифах эти включения имеют вид темных пятен, чаще всего неправильной формы. Размер включений сильно возрастает в направлении от границы сплавления металла шва с основным металлом к середине шва. Наиболее крупные включения наблюдаются в середине верхней части шва. При специальном травлении шлифов выявляются сульфидные пленки и цепочки мелких сульфидных включений, расположенные по границам кристаллитов металла шва.

Состав, форма и размеры сульфидных включений зависят от химического состава металла шва. В сульфидных включениях сера в основном находится в виде соединений с железом и марганцем. Повышение содержания в шве марганца способствует преимущественному связыванию серы в сульфид марганца MnS . Окисление сварочной ванны окалиной уменьшает содержание MnS во включениях и увеличивает содержание сульфида железа FeS . При высоком содержании марганца в шве повышение количества углерода уменьшает содержание MnS в сульфидных включениях. При малом количестве марганца изменение концентрации углерода мало влияет на связывание серы в форме MnS .

Кремний сильно уменьшает содержание сульфида марганца во включениях. Наличие хрома в металле шва способствует связыванию серы в виде сульфида хрома или смешанных хромомарганцевых сульфидов. Повышение содержания углерода в металле шва заметно увеличивает размер сульфидных включений.

В зависимости от степени раскисленности металла сварочной ванны образуются сульфидные включения трех типов:

- при окисленном металле, а также в присутствии марганца, хрома и кремния преимущественно образуются шаровидные окисульфидные включения;

- под влиянием небольших добавок сильных раскислителей (алюминия, титана, циркония и других) сульфидные включения приобретают вид пленок и цепочек, расположенных по границам кристаллитов металла шва;

- введение алюминия и циркония в количествах, больших необходимого для полного раскисления стали, может вызвать превращение пленок и цепочек во включения угловатой неправильной формы.

Наиболее опасными в отношении образования кристаллизационных трещин в сварных швах являются сульфидные пленки и цепочки.

В связи с большей растворимостью серы в жидкой стали по сравнению с кислородом в процессе охлаждения и затвердевания металла сварочной ванны сульфидные включения образуются при более низких температурах, чем

оксидные. Поэтому сера может выделяться на уже существующих оксидных включениях с образованием оксисульфидов. Аналогично образуются карбосульфидные и другие сложные сульфидные включения.

1.3.3 Фосфорсодержащие включения

Содержание фосфора в сварных швах на стали, как правило, невысокое – не больше 0,04– 0,06 %. В швах на углеродистых и низколегированных сталях фосфор преимущественно находится в твердом растворе, а не в виде неметаллических включений. Это обусловлено низкой концентрацией фосфора в металле швов и относительно высокой его растворимостью в феррите. В связи с низкой растворимостью фосфора в аустените фосфорсодержащие включения значительно чаще встречаются в швах с аустенитной структурой. В этих включениях фосфор может находиться в виде фосфидов, фосфидных эвтектик и фосфатов.

Фосфидные включения имеют червевидную форму и располагаются по границам кристаллитов металла шва. В зависимости от направления сечения на шлифах они имеют вид межкристаллитных прослоек или включений округлой формы. Фосфидные эвтектики находятся в виде прослоек по границам кристаллитов металла шва или зерен основного металла в околошовной зоне.

Вредное влияние фосфора на свойства сварных соединений заключается в снижении высокотемпературных характеристик металла шва вследствие ослабления межкристаллитных границ (при выделении легкоплавких включений) и в ухудшении механических свойств швов при нормальной и низких температурах. Последнее обусловлено снижением пластичности металла в результате растворения фосфора и наличием на границах кристаллитов хрупких неметаллических прослоек. Так как растворимость фосфора в аустените ниже, чем в феррите, опасность образования кристаллизационных трещин и снижения механических свойств металла шва значительно больше для швов с аустенитной структурой.

Для среднелегированных сталей вредное влияние фосфора и серы в отношении образования кристаллизационных трещин усиливается тем, что места ликвации этих элементов в металле шва совпадают. Обогащенные фосфором участки феррита лежат по границам первичных кристаллитов, где скапливаются и сульфидные включения.

1.3.4 Нитридные включения

В зависимости от надежности защиты зоны сварки от воздуха содержание азота в металле шва составляет от 0,01 до 0,1 %. Нитридные включения в сварных швах встречаются значительно реже, чем оксидные или сульфидные. Это обусловлено низким содержанием азота в швах и меньшей стойкостью нитридов при высоких температурах. Образование отдельной нитридной фазы в жидкой стали возможно лишь в присутствии сильных нитридообразующих элементов (титана, циркония). В основном нитридные включения выделяются в процессе охлаждения или термообработки сварных соединений. Для их образования необходимо наличие в металле шва сравнительно высокой концентрации азота, что возможно, например, при сварке открытой дугой без защиты или же при повышенном содержании азота в основном металле.

Обычно в связи с быстрым охлаждением и низкой концентрацией азот в металле швов фиксируется в виде твердого раствора. Если этот твердый раствор перенасыщен азотом, то при работе сварных соединений в нормальных условиях или при нагреве из него выделяются включения нитридов. Этим обусловлено так называемое старение металла шва. Ввиду малой скорости диффузии азота в твердом металле этот процесс проходит медленно.

В швах низкоуглеродистой стали с повышенным содержанием азота иногда обнаруживаются иголки нитрида железа Fe_4N и железонитридный эвтектид, так называемый браунит. Нитридные иголки наблюдаются лишь в швах, сваренных на воздухе голым электродом или электродом с тонким покрытием.

2 Содержание обобщенной группы дефектов сварных соединений по типу твердых включений

Твердое включение (цифровое обозначение дефекта 300) представляет собой включение (включения) по типу твердых инородных веществ металлического или неметаллического происхождения в металле сварного шва. Включения, имеющие хотя бы один острый угол, называются «остроугольными».

Дефект является недопустимым, поскольку является концентратором напряжения.

Внешний вид и место локализации возможного дефекта в сварном шве в виде твердого включения представлены на рисунке 2.1.

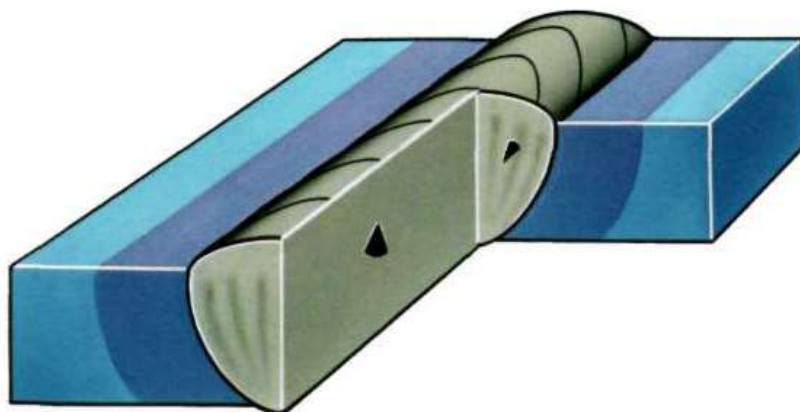


Рисунок 2.1 – Дефект сварного шва по типу наличия твердых включений

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

Процесс возникновения: тугоплавкие частицы инородных металлов и других включений (вольфрам, медь, корунд, кварц и другие) фиксируются в сварочной ванне при ее кристаллизации.

Причины возникновения:

- эрозия вольфрамового электрода при аргонодуговой сварке;

– случайное попадание тугоплавких частиц извне в жидкий металл сварочной ванны.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде твердых включений представлены на рисунке 2.2.

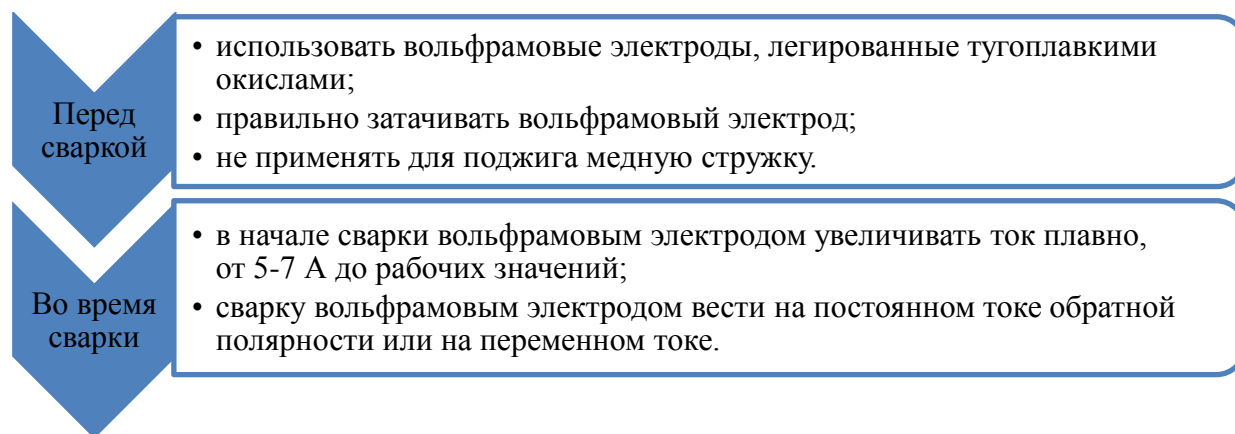


Рисунок 2.2 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве дефекта в виде твердых включений

Способы устранения: дефектный участок удалить шлифовальным инструментом и заварить повторно.

2.1 Шлаковое включение

Шлаковое включение (цифровое обозначение дефекта **301; Ва**) представляет собой шлак, попавший в металл сварного шва. В зависимости от условий образования шлаковые включения бывают:

- линейные (**3011**);
- разобщенные (**3012**);
- прочие (**3013**).

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

– дефект считается допустимым, если он выявлен в виде одиночного дефекта в конструкциях неответственного назначения;

– дефект считается недопустимым, если он выявлен в сварных швах ответственных конструкций, работающих при малоцикловом нагружении.

Внешний вид и место локализации дефектов в сварном шве в виде шлаковых включений представлены на рисунке 2.3.

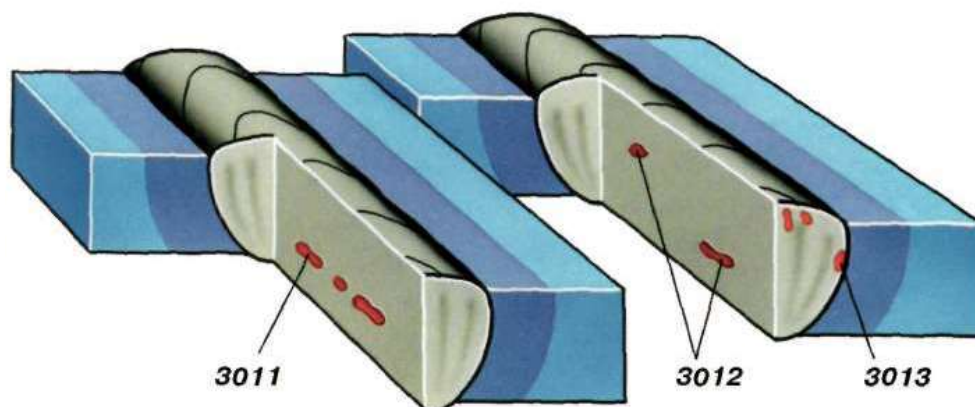


Рисунок 2.3 – Дефект сварного шва по типу наличия шлаковых включений

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

Процесс возникновения: металлургические реакции раскисления образуют оксиды MnO и SiO_2 , представляющие собой элементы шлака. Они всплывают на поверхность жидкой сварочной ванны. При медленном всплытии шлаковые включения кристаллизуются в металле шва.

Причины возникновения:

- сложные физико-химические процессы, протекающие в сварочной ванне при сварке покрытыми электродами;
- грязь на кромках;
- малый сварочный ток;
- большая скорость сварки.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде шлаковых включений представлены на рисунке 2.4.

Способ устранения – дефектный участок удалить шлифовальным инструментом и заварить.

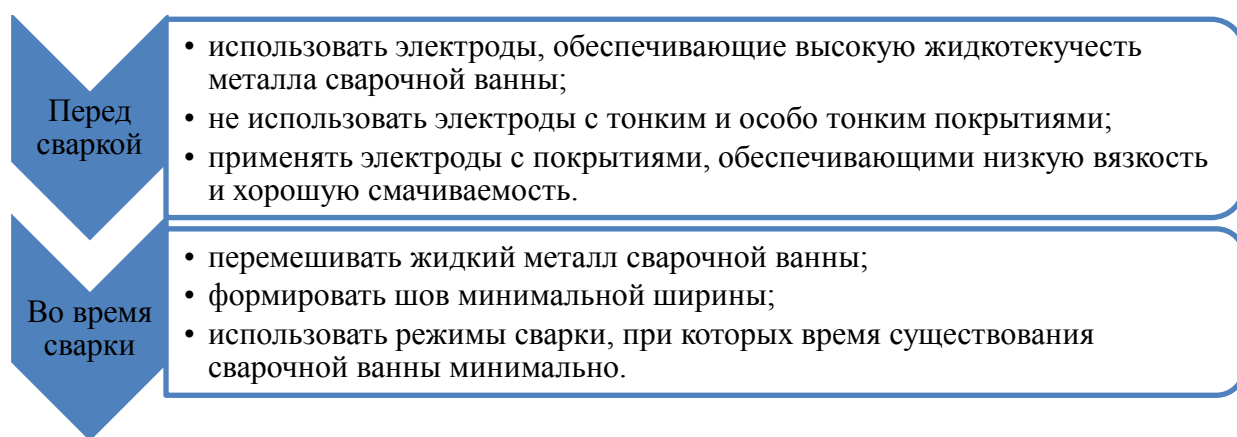


Рисунок 2.4 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве шлаковых включений

2.2 Флюсовое включение

Флюсовое включение (цифровое обозначение дефекта **302; G**) представляет собой дефект в виде включения флюса в металле сварного шва. В разных условиях образования флюсовые включения бывают:

- линейные (**3021**);
- разобщенные (**3022**);
- прочие (**3023**).

Дефект является допустимым, если он имеет округлую форму, малых размеров и находится в сварном шве неответственных конструкций.

Дефект является недопустимым в конструкциях ответственного назначения, работающих в сложных условиях эксплуатации, поднадзорных Ростехнадзору.

Внешний вид и место локализации дефектов в сварном шве в виде флюсовых включений представлены на рисунке 2.5.

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

Процесс возникновения: гранулы флюса, не успев вступить в реакцию с расплавленным металлом и всплыть на поверхность жидкой сварочной ванны, быстро кристаллизуются в ней.

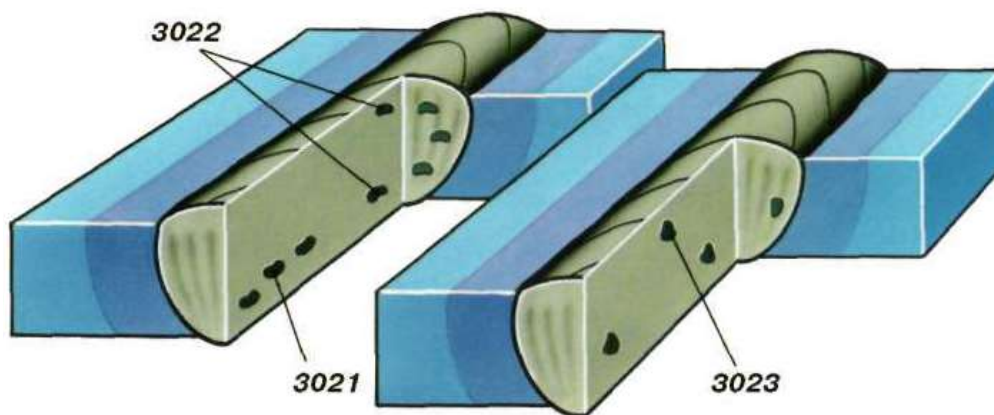


Рисунок 2.5 – Дефект сварного шва по типу наличия флюсовых включений

Причины возникновения:

- низкое качество флюса;
- завышенная скорость сварки;
- недостаточная сила тока;
- случайное попадание гранул флюса в жидкий металл сварочной ванны.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде флюсовых включений представлены на рисунке 2.6.

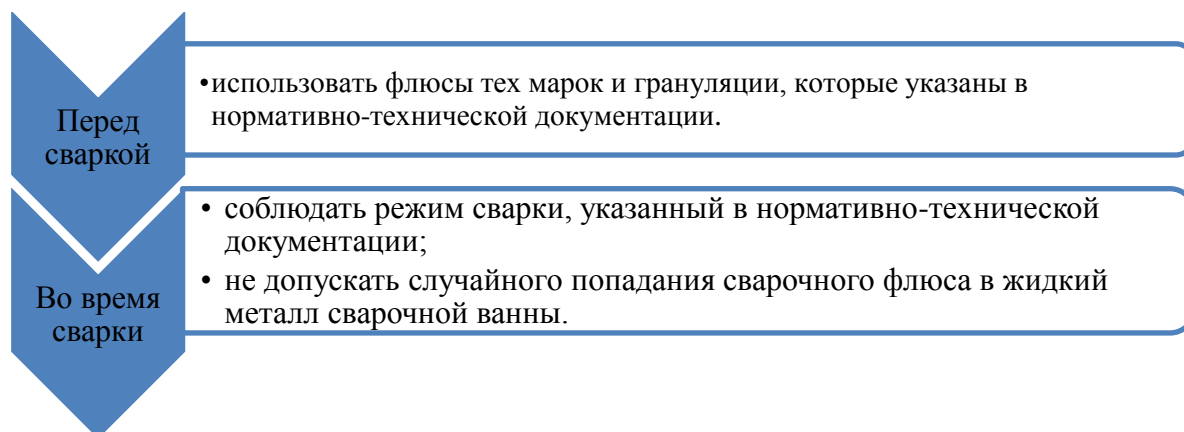


Рисунок 2.6 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве флюсовых включений

Способ устранения – дефектный участок удалить шлифовальным инструментом и заварить повторно.

2.3 Оксидное включение

Оксидное включение (цифровое обозначение дефекта **303; J**) – оксид металла, попавший в металл сварного шва во время его затвердевания.

Дефект является допустимым, если он малых размеров и благоприятной формы находится в неответственных конструкциях.

Дефект является недопустимым, если он обнаружен в ответственных конструкциях, поскольку его присутствие снижает прочность металла шва.

Внешний вид и место локализации дефектов в сварном шве в виде оксидных включений представлены на рисунке 2.7.

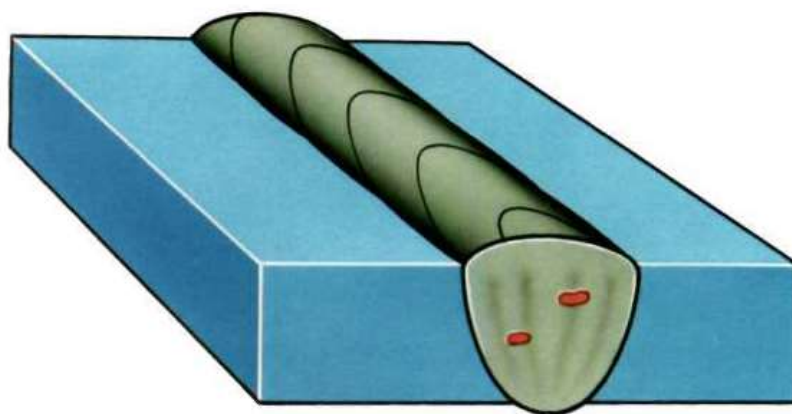


Рисунок 2.7 – Дефект сварного шва по типу наличия оксидных включений

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

Процесс возникновения: в сварочной ванне происходит взаимодействие жидкого металла и электродного покрытия. В результате этих металлургических реакций и появляется большинство оксидных включений ($\text{SiO}_2\text{-MnO-FeO}$; $\text{SiO}_2\text{-MnO-Al}_2\text{O}_3$; $\text{SiO}_2\text{-FeO-Al}_2\text{O}_3$).

Причины возникновения:

- наличие в металле шва атомарного кислорода;
- образование в расплавленном металле сварочной ванны зародышей оксидов: Al_2O_3 ; SiO_2 ; MgO ; TiO_2 ; CaO и других.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде оксидных включений представлены на рисунке 2.8.

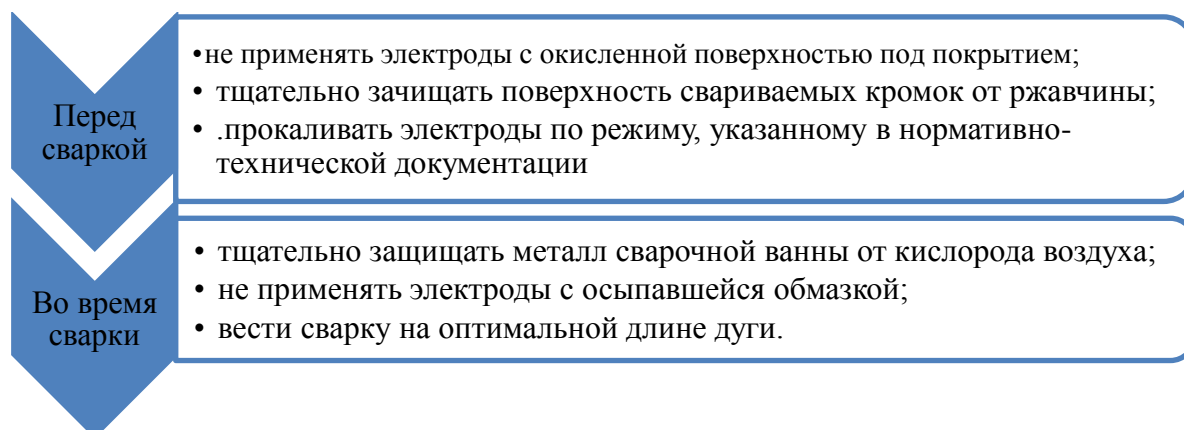


Рисунок 2.8 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве оксидных включений

Способ устранения – дефектный участок удалить шлифовальным инструментом и заварить повторно.

2.4 Металлическое включение

Металлическое включение (цифровое обозначение дефекта **304; Н**) представляет собой частицу инородного металла в металле сварного шва. Различают частицы: из вольфрама (**3041**), меди (**3042**), других металлов (**3043**).

Дефект является допустимым, если он имеет округлую форму, малых размеров и находится в сварном шве неответственных конструкций.

Дефект является недопустимым в конструкциях ответственного назначения, работающих в сложных условиях эксплуатации, поднадзорных органам технического надзора.

Внешний вид и место локализации дефектов в сварном шве в виде металлических включений представлены на рисунке 2.9.

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

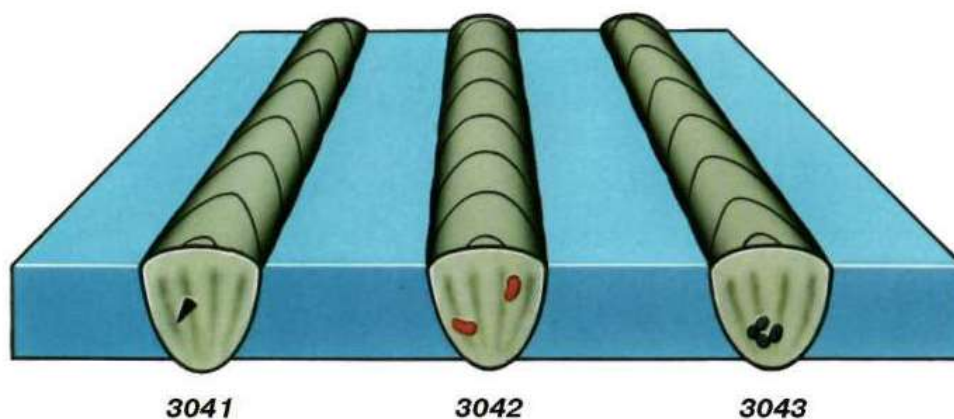


Рисунок 2.9 – Дефект сварного шва по типу наличия металлических включений

Процесс возникновения: тугоплавкие, не успевшие раствориться в сварочной ванне металлические включения, кристаллизуются в металле сварного шва.

Причины возникновения:

- завышена сила тока и недостаточная скорость сварки;
- слишком остро заточен вольфрамовый электрод;
- наличие тугоплавких частиц в основном и присадочном металле.

Способы предупреждения возникновения дефектов в виде металлических включений представлены на рисунке 2.10.

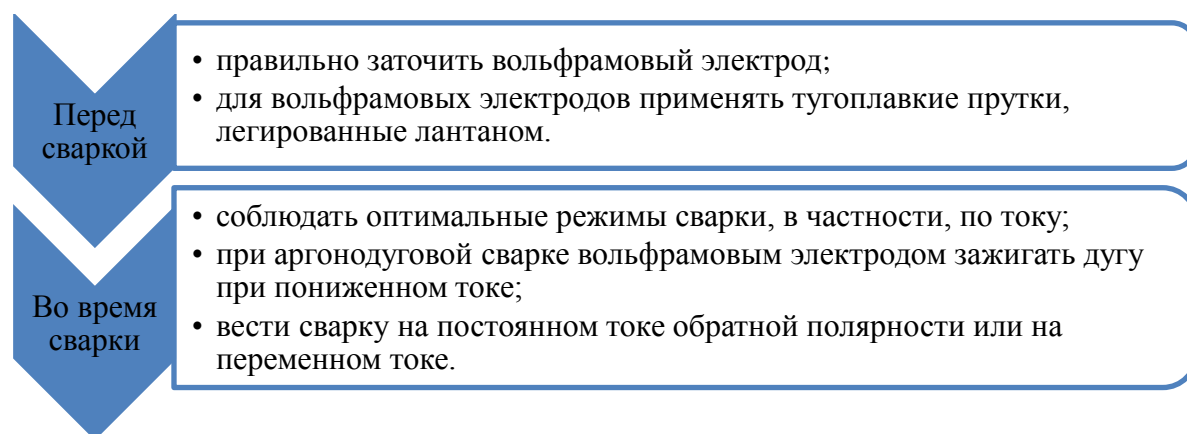


Рисунок 2.10 – Последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве металлических включений

Способ устранения – дефектный участок удалить шлифовальным инструментом и заварить повторно.

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. Назовите основные причины возникновения брака сварных соединений при использовании автоматической сварки.
9. Какие виды дефектов являются наиболее опасными для эксплуатации?
10. Что называется включениями в сварном шве? Каких видов они бывают?
11. Что такое максимальный размер и максимальная ширина включения в сварном шве?
12. Назовите основные причины образования включений вольфрама в сварном шве.
13. Чем обусловлено более редкое возникновение в сварных швах нитридных включений по сравнению с оксидными и сульфидными включениями?
14. На какие типы включений можно разделить оксидные включения в швах ручной дуговой сварки по минералогическому составу?
15. От чего зависят состав, форма и размеры сульфидных включений?
16. Какие способы предупреждения возникновения дефектов в виде различных включений известны сварщикам?
17. Что собой представляют твердые включения? Как они возникают?

18. Что представляет собой флюсовые включения? Какие бывают разновидности таких дефектов сварного шва?

19. В каких случаях флюсовые включения считаются допустимыми дефектами? А в каких недопустимыми?

20. Какова последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве флюсовых включений?

21. В каких случаях оксидные включения считаются допустимыми дефектами? А в каких недопустимыми?

22. Поясните процесс и причины возникновения оксидных включений в сварном шве.

23. Уточните последовательность действий для предупреждения возникновения в сварном шве оксидных включений.

24. Поясните процесс возникновения металлических включений в сварном шве. Где основное место локализации таких дефектов сварных соединений?

25. Перечислите основные способы предупреждения возникновения дефектов сварного соединения в виде металлических включений.

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. 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.
3. 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.
4. 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.
5. ИСО 6520-82. Классификация дефектов швов при сварке металлов плавлением (с пояснениями).
6. ГОСТ 6996–66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. – Введ. 01.01.66. – М. : Изд-во стандартов, 1966. – 28 с.
7. 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.
8. 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.
9. Пояркова, Е.В. К вопросу о решении проблемы повышения надежности оборудования нефтегазовой отрасли на основании контроля качества сварных соединений / Е.В. Пояркова, И.Р. Кузеев // Нефтегазовое дело – 2008. – Т.6. – №1. – С. 239-244.