

ТЕМА ЛЕКЦИИ - ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ И СОЕДИНЕНИЙ

План лекции

1. Классификация дефектов сварных соединений
2. Возможные причины появления трещин в швах сварных соединений и способы их предупреждения
3. Виды дефектов сварных швов и соединений

Цель и задачи лекции:

- цель лекционного занятия заключается в приобретении знаний по дефектам сварных швов и соединений.

Задачи:

1. Изучить классификацию дефектов сварных соединений.
2. Ознакомиться с возможными причинами появления трещин в швах сварных соединений и способами их предупреждения.
3. Изучить виды дефектов сварных швов и соединений

1.Классификация дефектов сварных соединений

Работоспособность сварных соединений и сварных конструкций в целом во многом определяется качеством сварных швов.

При сварке плавлением в сварном соединении (рис. 1) формируются участки, нагретые до различных температур, и отличающиеся по этой причине макро- и микроструктурой, физическими, химическими и механическими свойствами:

сварной шов;

зона сплавления;

зона термического влияния (далее – ЗТВ);

основной металл.

Расплавившийся и закристаллизовавшийся металл образует сварной шов с литой структурой; частично оплавившийся металл образует зону

сплавления. Примыкающие к ней участки металла, нагретые до температуры выше $\sim 10000\text{C}$, в которых протекают структурные превращения и возникают остаточные напряжения, образуют ЗТВ. Далее следует основной металл, структура и свойства которого в процессе сварки не изменяются.

В процессе сварки в металле шва и в ЗТВ могут возникать различные дефекты, которые снижают прочность соединения, приводят к негерметичности швов и снижению эксплуатационной надежности изделия.

Дефект — каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией.

Дефект сварного соединения — несплошность или отклонение от требуемой геометрии.

По причинам и времени появления дефекты подразделяются:

- Технологические – возникающие в процессе изготовления (к ним относятся и дефекты сварочного производства) Это дефекты сборки и подготовки и дефекты сварки
 - Эксплуатационные – возникшие в процессе эксплуатации изделия
- Мы остановимся более детально на технологических.

Дефекты сварных соединений в зависимости от их природы и причин образования классифицируются на:

- дефекты, связанные с особенностями технологических и тепловых процессов сварки, возникающие из-за нагрева, кристаллизации и остывания сварного соединения;
- дефекты формирования шва, происхождение которых связано с нарушениями требований нормативных документов к подготовке, сборке и сварке соединяемых узлов, механической и термической обработке сварных швов и самой конструкции, к сварочным материалам и оборудованию.

Дефекты сварных соединений по месту залегания и способам обнаружения классифицируются на:

- внешние дефекты, расположенные на поверхности сварного соединения и обнаруживаемые невооруженным глазом или с помощью лупы;

- внутренние дефекты, не выходящие на поверхность сварного соединения и наблюдаемые с помощью специальной аппаратуры.

К элементам геометрической формы подготовки кромок под сварку (рис. 2) относятся угол разделки кромок α , угол скоса кромок β , притупление кромок c , зазор между стыкуемыми кромками b , длина скоса листа L при наличии разности толщин металла, смещение кромок относительно друг друга a .

Наиболее характерные дефекты подготовки и сборки:

- неправильный угол скоса кромок;
- неправильная величина притупления;
- непостоянство зазора между свариваемыми кромками;
- несовпадение стыкуемых плоскостей кромок.

Разделка кромок выполняется при толщине металла более 3 мм, поскольку отсутствие разделки кромок может привести к непровару по сечению сварного соединения, а также к перегреву и пережогу металла. Несоблюдение угла скоса кромок может привести к нарушению геометрии шва – завышенной или заниженной ширине и выпуклости шва, при малом угле скоса кромок возможно появление непровара в корне шва, при большом – перегрева и пережога металла шва и ЗТВ.

Зазор, правильно установленный перед сваркой, позволяет обеспечить полный провар по сечению соединения при наложении первого (корневого) слоя шва, если подобран соответствующий режим сварки. Непостоянство зазора между свариваемыми кромками приводит к появлению прожогов или непроваров при сварке.

Притупление кромок выполняется для обеспечения устойчивого ведения процесса сварки при выполнении корневого слоя шва. Отсутствие притупления или его неправильная величина способствует образованию прожогов или непроваров при сварке.

Длиной скоса листа регулируется плавный переход от толстой свариваемой детали к более тонкой, устраняются концентраторы напряжений в сварных конструкциях.

Смещение кромок создает дополнительные сварочные деформации и напряжения, тем самым ухудшая прочностные свойства сварного соединения. Кроме того, смещение кромок не позволяет получать монолитного сварного шва по сечению свариваемых кромок. Смещение кромок регламентируется ГОСТами, нормативной документацией или техническими условиями на изготовление изделий.

Причинами дефектов подготовки и сборки могут быть неисправности станков для механической обработки или газорезательных машин, приспособлений для сборки, низкое качество исходных материалов, ошибки в чертежах, низкая культура производства, низкая квалификация персонала.

Дефекты подготовки и сборки часто приводят к появлению сварочных дефектов, поэтому подготовку изделий к сварке необходимо особо тщательно контролировать.

Одной из разновидностью дефектов является трещины.

Трещина (100) — нарушение сплошности, вызванное локальным разрывом в результате охлаждения или действия нагрузок.

Существует следующая классификация трещин по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012:

- микротрещины (1001), видимые только под микроскопом;
- продольные (101), ориентированные параллельно оси сварного шва (рис.3, а);
- поперечные (102), ориентированные поперек оси сварного шва (рис.3, б);
- радиальные (103), радиально исходящие из одной точки (рис.3, в);
- кратерные (104) (рис.3, г);
- разрозненные (105), несвязанные между собой, ориентированные в разных направлениях (рис.3, д);

- разветвленные (10б), связанные между собой, расходящиеся из одной общей трещины (рис.3, е).

Трещины являются самыми опасными недопустимыми дефектами, так как являются концентраторами напряжения и очагом разрушения сварного соединения. Они могут быть расположены в металле сварного шва, в ЗТВ, в основном металле. Трещины, как правило, не подлежат устранению без вырезки сварного соединения.

В зависимости от температуры, при которой образуются трещины, их условно подразделяют на горячие и холодные.

Холодные трещины возникают при температурах ниже 300°C , то есть сразу после остывания шва или при вылеживании готового изделия. Холодные трещины могут быть продольными или поперечными (рис. 4; а) — в изломе светлые или со слабыми цветами побежалости и возникают преимущественно при дуговой сварке низколегированной стали большой толщины. Холодные трещины образуются, главным образом, при сварке среднелегированных сталей перлитного и мартенситного классов.

Горячие трещины появляются в процессе кристаллизации металла при температурах $1100 — 1300^{\circ}\text{C}$ вследствие резкого снижения пластических свойств и развития растягивающих деформаций. Они могут быть внутренними или выходить на поверхность, могут возникать как в шве, так и в ЗТВ. Распространяться горячие трещины могут как вдоль, так и поперек шва. Горячие трещины извилисты, на изломе имеют желтовато — оранжевый оттенок, сильно окислены, распространяются по границам зерен.

Горячие трещины возникают чаще всего при сварке высоколегированных сталей аустенитного класса, алюминиевых, титановых и никелевых сплавов

Разрозненные трещины и разветвленные трещины могут быть холодными и горячими (рис.6).

Выходящие на поверхность трещины выявляются при внешнем осмотре. Внутренние трещины могут быть выявлены методами



неразрушающего контроля, такими как ультразвуковой и рентгенографический контроль.

Заварка (ремонт) трещин без соответствующей подготовки может вызвать их мгновенное распространение даже при незначительных нагрузках и снижении температуры.

Перед разделкой необходимо тщательно осмотреть трещину, точно определить ее концы, затем засверлить сверлом диаметром 6-10 мм так, чтобы центр отверстия совпадал с концом трещины или был на 3-5 мм дальше трещины.

2. Возможные причины появления трещин в швах сварных соединений и способы их предупреждения

Возможными причинами появления трещин в швах сварных соединений является:

- жесткое закрепление свариваемых деталей;
- малое сечение сварного шва для данной толщины соединения;
- наличие дефектов в сварном шве или основном металле;
- неправильная подготовка соединения под сварку;
- неудовлетворительное качество или неправильный выбор типа электродов;
- использование повышенных значений сварочного тока, что приводит к появлению крупнозернистых участков структуры сварного шва;
- высокое содержание углерода или легирующих элементов в основном металле, не учтенное при выборе технологии сварки;
- быстрое охлаждение сварочной ванны (при сварке высокоуглеродистых и легированных сталей);
- несоблюдение технологии, режимов сварки, заданного порядка наложения сварных швов.
- большое количество водорода в металле шва.

Способы предупреждения трещин являются:

- применение сварочных материалов с низким содержанием углерода;
- тщательная сборка соединения, исключая жесткое закрепление свариваемых деталей;
- оптимальный порядок наложения швов;
- применение режимов сварки с минимальным проплавлением основного металла и оптимальной скоростью охлаждения;
- выбор оптимальной формы шва;
- тщательная очистка кромок и проволоки;
- осушка защитных газов, прокалка электродов, порошковой проволоки, флюсов;
- обеспечение замедленного охлаждения сварного соединения;
- в некоторых случаях обеспечение предварительного или сопутствующего подогрева свариваемых кромок.

3. Виды дефектов сварных швов и соединений

Также следует отметить и другие виды дефектов, на которых мы остановимся и разберем.

Газовая полость – это полость, образованная задержанным газом, выделяющимся при кристаллизации.

Классифицируют полости по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 на:

газовую пору, равномерную пористость, скопление пор, линейную пористость, вытянутую полость, свищ, поверхностную пору, усадочную раковину, кратерную усадочную раковину, незаваренный кратер.

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, но

наличие пор при всех условиях нежелательно. Вопрос о допустимости пор решается в зависимости от условий эксплуатации конструкции.

Поры и полости в сварных швах образуются в результате перенасыщения жидкого металла шва газами, которые не успевают выйти на поверхность во время его быстрого затвердевания. Поры располагаются по оси шва или его сечению, а также вблизи от границы сплавления. При дуговой сварке поры выходят или не выходят на поверхность шва, располагаются цепочкой по оси шва или отдельными группами.

Размеры пор могут быть микроскопическими или достигать нескольких миллиметров, они могут быть округлой или вытянутой формы. Степень пористости шва и размер отдельных пор во многом зависят от того, как долго сварочная ванна находится в жидком состоянии, которое позволяет образующимся газам выйти из шва.

Наличие пористости в сварном соединении снижает механические свойства металла (прочность, ударную вязкость и т.п.), а также герметичность изделия.

Свищ — дефект сварного шва в виде трубчатой полости в металле сварного шва, образовавшийся из-за выделений газа в процессе сварки (рис. 10). Форма и положение свища зависят от режима затвердевания и вида газа. Обычно свищи скапливаются и распределяются «елочкой». Свищ образуется при случайных коротких замыканиях вольфрамового электрода или резком обрыве дуги, а также в результате неправильного гашения дуги при ручной и автоматической сварке. Свищи возникают при сварке угловых швов в различных пространственных положениях, отличных от нижнего, потому что подъемная сила не может выдавить пору наружу, сквозь металл сварного шва.

Свищи относятся к недопустимым дефектам и являются концентраторами напряжений в сварном шве.

Кратер — наружный дефект сварного шва, который образуется в виде углублений в местах резкого отрыва дуги в конце сварки (рис.11). В углублениях кратера могут появляться усадочные рыхлости, часто

переходящие в трещины. Кратеры обычно появляются в результате неправильных действий сварщика. При автоматической сварке кратер может появляться в местах выводных планок, где обрывается сварочный шов.

Кратер относится к недопустимым дефектам, уменьшает сечение сварного шва, является концентратором напряжений и виден при внешнем осмотре.

Твердое включение (300) – твердое инородное вещество в металле шва (рис. 15, а).

Классификация твердых включений по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012:

- шлаковое включение (301) – включение шлака (линейное, единичное, скопление) (рис. 15, б);
- флюсовое включение (302) — включение флюса (линейное, единичное, скопление) (рис. 15, в);
- оксидное включение (303) – твердое включение оксида металла (линейное, единичное, скопление) (рис. 15, б);
- оксидная пленка (3034) – макроскопическая оксидная пленка, образующаяся в алюминиевых сплавах из-за недостаточной защиты от доступа воздуха и завихрений в сварочной ванне;
- металлическое включение (304) – включение инородного металла (вольфрамовое, медное, других металлов) (рис. 15, г).

Шлаковые включения могут иметь размер до нескольких десятков миллиметров и поэтому являются очень опасными. Шлаковые и твердые включения, так же как и газовые поры, ослабляют сечение шва, уменьшают его прочность и являются зонами концентрации напряжений (рис.16).

Шлаковые включения появляются в результате того, что шлак, образующийся при плавлении электродного покрытия или флюса, не всегда всплывает на поверхность сварочной ванны. Вероятность образования шлаковых включений очень велика при сварке электродами с тонким покрытием. При сварке высококачественными электродами, дающими много шлака, расплавленный металл дольше находится в жидком состоянии, и

неметаллические включения успевают всплыть на его поверхность, в результате чего засорение шва шлаковыми включениями незначительно. При сварке в защитных газах шлаковые включения встречаются редко.

Существуют также, Непровары и несплавления являются одними из наиболее опасных дефектов сварных швов, и могут также сопровождаться присутствием пор и оксидных включений. В результате образования этих дефектов снижается сечение шва и возникает местная концентрация напряжений, что в конечном итоге снижает прочность сварного соединения и приводит к разрушению сварной конструкции.

Несплавление появляется из-за отсутствия металлической связи (литой зоны) между основным металлом сварного шва и свариваемым металлом или между отдельными валиками сварного шва (рис. 13, а, б, в). Зона несплавления образуется при повышенных скоростях сварки, если к моменту заполнения разделки металлом сварочной ванны жидкая пленка, покрывающая ее поверхность, успела закристаллизоваться, а запас теплоты, накопленный в сварочной ванне, недостаточен для повторного расплавления основного металла.

Непровар (402, D) или неполный провар – это несплавление основного металла на участке или по всей длине шва, появляющееся из-за неспособности расплавленного металла проникнуть в корень соединения.

Причины образования непроваров в сварных швах:

- плохая очистка металла от окалины, ржавчины и грязи;
- малый зазор в стыке;
- излишнее притупление и малый угол скоса кромок;
- недостаточная величина тока или мощности горелки;
- большая скорость сварки;
- смещение электрода в сторону от оси шва;
- недостаточный прогрев основного металла в начале процесса автоматической сварки под флюсом и электрошлаковой сварки;
- вынужденные перерывы в процессе сварки;

- неравномерное прилегание формирующей подкладки к обратной стороне сварного шва;
- плохая очистка предыдущих слоев шва;
- большой объем наплавленного металла.

Непровары и несплавления обнаруживаются неразрушающими методами контроля: ультразвуковым или радиографическим, магнитными методами (для сталей), а также методами разрушающего контроля – на макрошлифах и изломе сварного шва. Вопрос о допустимости непроваров и несплавлений решается в зависимости от условий эксплуатации конструкции.

Дефектные участки швов с непроварами и несплавлениями удаляют до основного металла воздушно – дуговой строжкой, а также любым механическим способом (абразивным кругом, электро- или пневмозубилом, фрезами и т. д.). Затем производится заварка дефектного участка и его контроль участка.

Отметим классификацию отклонений формы и размера сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012:

- неправильная форма (500) — отклонение от требуемой формы и/или геометрии сварного шва (рис. 19, а);
- подрез (501) — углубление по границе валика в основном металле или предыдущем наплавленном металле:
- непрерывный (5011) – значительной длины без прерываний (рис. 19, б);
- прерывистый (5012) – малой длины, периодически повторяющийся вдоль сварного шва (рис. 19, в);
- подрезы корня шва (5013) – расположенные с обеих сторон корневого валика (рис. 19, в);
- межваликовый подрез (5014) – проходящий между валиками (рис. 19, д);
- единичный подрез (5015) – короткие подрезы, расположенные в разных местах, по границе или на поверхности валиков (рис. 19, е);

- превышение выпуклости стыкового (502) и углового (503) швов – избыток наплавленного металла на лицевой поверхности стыкового или углового швов (рис. 19, *ж, з*);
- превышение проплава (504) — избыточное количество наплавленного металла при сварке корня шва (местное, протяженное, избыточное проплавление) (рис. 19, *е*);

Отклонения формы и размеров шва включают:

- неправильный профиль сварного шва (505), неправильный угол перехода шва к основному металлу (5051) – малый угол α между поверхностью основного металла и плоскостью, касательной к поверхности выпуклости сварного шва (рис. 16, *а*);
- неправильный радиус перехода шва к основному металлу (5052) – малый радиус перехода выпуклости сварного шва к основному металлу (рис. 16, *б*);
- натек (506) — избыток наплавленного металла, натекшего на поверхность основного металла без сплавления с ним (на лицевой поверхности и в корне шва) (рис. 16, *в*);
- линейное смещение (507) – смещение между двумя свариваемыми элементами (листами или трубами), у которых поверхности параллельны, но расположены не в одной плоскости (рис. 16, *г*);
- угловое смещение (508) — смещение между двумя свариваемыми элементами), поверхности которых не параллельны или не находятся под заданным углом (рис. 16, *д*);

Отклонения формы и размера сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 классифицируются:

- протек (509) – протек наплавленного металла, обусловленный действием силы тяжести (в горизонтальном, нижнем, потолочном положении, углового шва, на краю шва) (рис. 17, *а*);

- прожог (510) — вытекание сварочной ванны с образованием сквозного отверстия в сварном шве (рис. 17, б);
- незаполненная разделка кромок (511) – сплошное или прерывистое углубление на поверхности шва из-за недостатка наплавленного металла (рис. 17, в);
- асимметрия углового шва (512) (рис. 17, г);
- неравномерная ширина шва (513) – чрезмерное колебание ширины шва (рис. 17, д);
- неровная поверхность шва (514) – чрезмерная неровность наружной поверхности шва (рис. 17, е);
- вогнутость корня сварного шва (515) – неглубокое углубление в корне стыкового сварного шва, возникшее вследствие усадки (рис. 17, ж);
- корневая пористость (516) – губчатое образование в корне шва, возникшее вследствие выделения газа в процессе кристаллизации;
- плохое повторное возбуждение (517) – местная неровность поверхности в месте возобновления сварки (в облицовочном слое и в корне шва) (рис. 17, з);
- коробление (520) – отклонение размеров, возникшее от сварочных деформаций;

Неправильные размеры сварного шва (521) – отклонение размеров от нормативных (превышение толщины, ширины стыкового шва, занижение и превышение толщины углового шва) (рис. 18).

Требования к форме и размерам сварных швов устанавливаются стандартами, правилами или техническими условиями и указываются в рабочих чертежах на изделие

Вследствие образования внутренних напряжений происходит **Коробление сварных конструкций**, причинами которых являются неравномерный нагрев, расширение, литейная усадка и структурные изменения металла при сварке.

Чаще всего подвергаются короблению сварные конструкции из высоколегированных аустенитных сталей из-за более низкой теплопроводности и повышенного коэффициента теплового расширения по сравнению с углеродистыми сталями. Сварные конструкции из алюминия и его сплавов также склонны к короблению, что объясняется относительно высоким коэффициентом теплового расширения.

Примеры коробления сварных конструкций показаны на рисунке 19.

Коробление деталей затрудняет сборку отдельных узлов сварных конструкций, заставляет увеличивать припуск на механическую обработку, ухудшает качество последующей сварки и эксплуатационные качества изделий — уменьшает их прочность, жесткость и коррозионную стойкость.

Коробление сварных конструкций выявляется внешним осмотром и измерениями. Остаточные деформации, возникшие после сварки, исправляются способами механического (изгиб, растяжение, проковка, прокатка роликами), термического или термомеханического воздействия (местным нагревом металла до температуры не выше 700°C), путем высокого отпуска в зажимных приспособлениях (нагревом конструкции до температур $650-750^{\circ}$, выдержкой в течение 1-5 ч и последующем медленном охлаждением).

Все дефекты, которые не могут быть включены в предыдущие группы классификаций выделяют в группу Прочие дефекты (600).

Ожог дугой возникает из-за зажигания дуги на основном металле с последующим переводом ее в разделку. Основная причина образования данного дефекта – низкая квалификация сварщика.

Брызги металла и вольфрамовые брызги образуются в момент короткого замыкания дугового промежутка, когда часть электродного металла разлетается и оседает на поверхности основного металла прилегающего ко шву. Основная причина образования данных дефектов – низкая квалификация сварщика, завышенный сварочный ток, некачественные электроды, неправильная заточка вольфрамового электрода.

Ожоги и брызги металла не только портят внешний (товарный) вид изделия, но и являются очагами образования коррозии для нержавеющей сталей и местом образования трещин для закаливаемых сталей.

Поверхностные задиры основного металла образуются в местах приварки вспомогательных приспособлений после их удаления. Основная причина образования данного дефекта – низкая квалификация сварщика.

Задир может быть стать очагами образования коррозии для нержавеющей сталей и местом образования трещин для закаливаемых сталей.

Утонение металла уменьшает сечение сварного шва и устраняется наплавкой в данном месте с последующей механической обработкой.

Дефекты прихватки шва – поры, трещины, шлаковые включения недопустимы, так как могут явиться причиной образования подобных дефектов в сварном шве. Дефектные прихватки выявляются внешним осмотром, и перед сваркой должны быть удалены механическим способом (пневматическим или ручным зубилом, шлифовальным кругом) и выполнены вновью.

Смещение осей двухсторонних валиков (608) – смещение между осями двух валиков, выполненных на противоположных сторонах сварного шва (рис. 20, е);

Неправильный зазор в корне угловых швов (617) – излишний или недостаточный зазор между свариваемыми кромками (рис. 20, ж);

Вздутие (618) – дефект, вызванный продолжительным нагревом сварных соединений из легких сплавов на стадии кристаллизации (рис. 20, з).