

Содержание лекции

- Общие сведения
- Структура сварного соединения
- Понятие «свариваемость»
- Технология сварки: подготовка, выполнение, контроль
- Методы сварки
- Контроль ферритной фазы
- Дефекты сварных швов
- Наплавка
- Дефекты наплавки

Общие сведения

Сварку применяют для изготовления сварных конструкций взамен литых, для исправления дефектов и восстановления, вышедших из строя деталей.

Металлы при комнатной температуре не соединяются при простом контакте. Соединению твердых металлов мешает, прежде всего, их твердость. Для преодоления приведенных затруднений при сварке применяют нагрев и давление.

Соединение металлов сваркой во всем мире начали использовать на рубеже XIX-XX веков, это стало возможным после того, как русский ученый В. В. Петров открыл явление электрической дуги, которая, проходя между металлом объекта сварки и электродом, расплавляет металл и электрод и за счет местного нагрева обеспечивается получение неразъемных соединений.

При сварке используются различные источники энергии: электрическая дуга, электрический ток, газовое пламя, лазерное излучение, электронный луч, трение, ультразвук.

Развитие технологий позволяет в настоящее время проводить сварку не только в условиях промышленных предприятий, но в полевых и монтажных условиях (в степи, в поле, в открытом море и т. п.), под водой и даже в космосе.

В настоящее время различают более 150 видов и способов сварочных процессов, подробнее можно ознакомиться в ГОСТ 19521-74.

Сварка осуществима при следующих условиях:

- применении очень больших удельных давлений сжатия деталей, без нагрева;
- нагревании и одновременном сжатии деталей умеренным давлением;
- нагревании металла в месте соединения до расплавления, без применения давления для сжатия.

Т.о. все разновидности сварки можно отнести к трем основным группам:

- сварка давлением (механический класс, сварка в твердом состоянии);
- сварка плавлением (термический класс, сварка в жидком состоянии);
- сварка плавлением и давлением (термомеханический класс, сварка в жидко-твердом состоянии).

Сварка давлением — сварка, при которой в области контакта двух металлических поверхностей происходит деформация, в результате чего образуется сварное соединение. Осуществляется за счёт взаимодействия атомов металлов (объединения электронных оболочек) двух свариваемых поверхностей. При этом качество самой сварки может зависеть от многих факторов:

- уровень приложенных усилий;
- качество подготовленных поверхностей;
- способность металла подвергаться деформации.

Давление, прилагаемое к соединяемым частям, создает значительную пластическую деформацию металла по кромкам свариваемых деталей, и он начинает течь подобно жидкости. Металл перемещается

вдоль поверхности раздела, унося с собой поверхностный слой с загрязнениями и пленками адсорбированных газов. В тесное соприкосновение вступают выходящие на поверхность свежие слои и образуют одно целое. В процессе деформации происходит смятие неровностей, разрушение окисных пленок, в результате чего увеличивается площадь соприкосновения чистых поверхностей. Возникновение межатомных связей приводит к прочному соединению деталей. На процесс соединения сильно влияют загрязнения поверхности металлов (окислы, жировые пленки и пр.).

При сварке *плавлением* детали по соединяемым кромкам оплавляются под действием источника нагрева. Оплавленные поверхности кромок, образуют жидкую сварочную ванну. При охлаждении сварочной ванны жидкий металл затвердевает и образует сварной шов. Сварка плавлением имеет наибольшее распространение, при данном виде сварки происходят значительные изменения в химическом составе наплавленного металла и в его структуре.

Сварка плавлением имеет наибольшее применение вследствие меньшей стоимости, простоты оборудования и универсальности. Следует, однако, отметить, что при сварке плавлением происходят значительные изменения в химическом составе наплавленного металла и в его структуре (подробнее рассмотрим ниже).

Коротко об основных способах сварки

Дуговая сварка

Тепло для локального плавления металла заготовок выделяется при горении электрической дуги между электродом и заготовками. Для зажигания кратковременно касаются электродом поверхности, затем отводят на расстояние 2 — 5 мм. Чем короче дуга, тем выше ее температура.

Для соединения деталей используют следующие методы сварки:

- ручную, когда все манипуляции с электродом выполняет сварщик;
- полуавтоматическую с подачей электродной проволоки механизмом, установленным в аппарате;
- автоматическую, когда процесс выполняется по заданному алгоритму без вмешательства человека.

Дуговой вид выполняется плавящимися и неплавящимися угольными или вольфрамовыми электродами с введением присадочной проволоки в рабочую зону. Для защиты расплавленного металла от соприкосновения с воздухом механизированные способы проводят под флюсом или в среде инертного газа.

Газовая сварка

Сварка плавлением с применением смеси кислорода и горючего газа, преимущественно ацетилена; реже - водорода, пропана, бутана и др.

Сущность процесса газовой сварки заключается в том, что свариваемый и присадочный металлы расплавляются в пламени, получаемом при сгорании горючего газа в смеси с кислородом, развивая температуру в два раза выше температуры плавления металла. При нагревании газосварочным пламенем кромки свариваемых заготовок расплавляются, а зазор между ними заполняется присадочным металлом.

В отличие от дугового вида при газовой сварке нагрев и охлаждение материала происходит более медленно. Поэтому этим методом проще сваривать тонкостенную сталь, цветные металлы, проводить наплавку. Независимость от электроэнергии позволяет работать в полевых условиях. Стык нагревается факелом горелки, который образуется при сгорании в чистом кислороде ацетилена, пропана, водорода, паров бензина или керосина. Шов формируется за счет плавления присадочного материала. Для сварочных работ чаще используют ацетилен, температура пламени которого доходит до 3100°C. Похожая по принципу работы плазменная сварка выполняется струей ионизированного газа с температурой больше 10000°C.

Основных минусов у газовой сварки четыре:

- низкая скорость нагрева и большое рассеивание тепла (сравнительно низкий КПД), из-за этого практически невозможно сваривать металл толщиной свыше 5 мм;

- слишком широкая зона термического влияния, то есть зона нагрева;
- себестоимость: цена расходного ацетилена при газосварке выше, чем цена электроэнергии, затраченной на тот же объем работы;
- слабый потенциал механизации: из-за своего принципа действия фактически может быть реализована только ручная газовая сварка, полуавтоматический метод невозможен, автоматический — только с применением многопламенной горелки, и только при сварке тонкостенных труб либо иных резервуаров.

Лучевая и лазерная сварка

Технология основана на плавлении материала деталей световым лучом лазера или потоком электронов, создаваемого электронной пушкой. Оба метода применяются преимущественно в радиоэлектронной отрасли для соединения и крепления микроэлементов. Чтобы луч не рассеивался, электронно-лучевая сварка проводится в вакуумной камере.

Лазерная сварка позволяет накладывать швы с высокой точностью. При этом, практически не нагреваются прилегающие поверхности, что исключает деформирование даже очень тонкого материала. Для работы в труднодоступных местах изменяют направление луча призмами. Процесс рекомендуется проводить в среде инертного газа.

Термитная сварка

Для сварки этого вида используют порошкообразную смесь (термит), состоящую из алюминия, магния, окислов железа. При сгорании образуется тепло, которое расплавляет кромки заготовок. Расплавленный термит смешивается с металлом деталей, после кристаллизации образуется соединение. Для запуска процесса термит дистанционно поджигают пиропатроном, электрическим разрядом, бикфордовым шнуром. Температура горения смеси достигает 2700°C, которой достаточно для сварки металлов.

Кузнечная сварка

Этим способом соединяли железные заготовки задолго до изобретения современных классов сварки. Заготовки нагревают в горне, кладут одна на другую, скрепляют ударами молота. Механизированный подвид, когда заготовки сдавливаются прессом, называют прессовой сваркой. Качество соединения зависит от опытности мастера. Перечень металлов, которые можно сваривать этим методом, ограничен видами с хорошей пластичностью. Из-за малой производительности и низкой надежности соединения кузнечный вид сварки применяется редко.

Контактная сварка

Металл нагревают током, проходящим через место соприкосновения заготовок, затем сжимают или осаживают. Этот вид легко автоматизируется, поэтому широко используется на предприятиях машиностроительной отрасли в составе роботизированных комплексов.

В зависимости от решаемых задач различают следующие виды:

- точечную: детали зажимают между электродами, после подачи тока в месте сдавливания образуется точечное соединение;
- стыковую: нагрев всей площади соприкосновения соединяемых деталей;
- рельефную: на соединяемые плоскости предварительно наносят выступы (рельефы), после подачи тока рельефы деформируются, поверхность выравнивается, образуя соединение;
- шовную: детали соединяют внахлест роликовыми электродами.

Диффузионная сварка

Технология основана на взаимном проникновении (диффузии) атомов материалов, если их плотно прижать один к другому. При нагреве скорость обмена частицами увеличивается. Сварку проводят в вакуумной камере или среде инертного газа. Детали сжимают с усилием не меньше 20 МПа,

поверхностные слои нагревают электротоком до температуры близкой к точке плавления. Для надежного сцепления заготовки оставляют в этом положении на некоторое время, не отключая ток.

Эти виды сварки выполняют за счет энергии трения, взрыва, давления, ультразвука. При их воздействии выделяется тепло, достаточное для плавления материала.

Сварка трением

Технология входит в список перспективных разработок. Одну из соединяемых заготовок крепят неподвижно, другая, прижатая к ней, вращается. Подробная классификация сварки трением включает следующие подвиды:

- с перемешиванием: выполняется на оборудовании, оснащено инструментом вращения с двумя элементами — основанием и наконечником. Соединение создается методом выдавливания с последующим перемешиванием;
- радиальная: стыковка труб во вращающемся кольце между торцами;
- штифтовая: заполнение/ремонт небольших сквозных повреждения. На месте дырки просверливают круглое отверстие, в которое вставляют вращающийся штифт из такого же металла что и основной.
- линейная, без вращения: заготовки трут одна о другую до оплавления стыкуемых поверхностей, затем повышают усилие сдавливания;
- инерционная: заготовки двигают за счет энергии предварительно раскрученного маховика.

Холодная сварка

В основу технологии заложен принцип сжатия деталей пуансонами с усилием 1 — 3 ГПа. Точечную сварку проводят стержнями, шовную роликами. Пуансон вдавливают в заготовку до образования пластической деформации, что способствует появлению межатомных связей и созданию соединения между деталями. Сварку выполняют простым сжатием или со сдвигом деталей после сдавливания. Прочность соединения зависит от качества подготовки места стыка, степени сжатия, характера воздействия (вибрационное либо статичное).

При соединении встык величину деформации ограничивают размером выступающих из зажимов частей заготовок. Чтобы предотвратить коробление листов при соединении внахлест, их закрепляют прижимами. После пластической деформации металл становится тверже, поэтому прочность шва выше, чем у заготовок. Холодный вид соединения применяют для работы с алюминием, медью, цинком, серебром и другими металлами с низкой температурой плавления.

Пайка

Пайка – процесс соединения металлических деталей, находящихся в твердом состоянии при помощи более легкоплавкого сплава, называемого припоем. Между расплавленным припоем и основным металлом происходят на небольшой глубине процессы взаимного растворения и диффузии, в результате которых при застывании получается прочное соединение деталей.

Структурное строение сварных швов

Особенностью металлургических процессов при сварке плавлением являются весьма высокие температуры и кратковременность всех процессов, что и приводит к изменению структуры металлов в зоне термического влияния (ЗТВ).

На свойства сварного соединения наряду с химическим составом металла шва значительное влияние оказывает структура металла шва и околошовной зоны. В зависимости от химического состава и скорости охлаждения структура металла шва может быть самой разнообразной.

Наплавленный металл, образующий валик, представляет собой литой металл, весьма быстро охлажденный и затвердевший. Быстрота охлаждения придает наплавленному металлу характерную дендритную структуру (крупнозернисто-столбчатую). Также, вследствие быстрого охлаждения, наплавленный металл часто бывает засорен неметаллическими включениями и газовыми пузырями. По

химическому составу наплавленный металл представляет собой нечто среднее между основным и электродным металлом. Вследствие перегрева металл в значительной мере теряет легкоиспаряющиеся и окисляющиеся составные части, например Mn, C, Si. Вредные примеси практически не выгорают. Посредством легирования через электродную проволоку, обмазку электродов и флюс удается предупредить ухудшение химического состава металла в процессе сварки и восстановить его механические свойства.

Рассмотрим строение сварного соединения и прилегающей зоны, см. Рисунок 1.

К наплавленному металлу прилегает *переходная зона*, лежащая между ним и неизменным основным металлом. Это и есть ЗТВ, ее образование при сварке неизбежно. Общие размеры ЗТВ зависят от вида сварки, толщины и теплофизической характеристики металла, температуры окружающей среды и составляют от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров.

В ЗТВ сначала происходит быстрое повышение температуры, а затем замедленное охлаждение металла (из-за отдачи тепла в холодный основной металл). Резкие изменения температуры в околошовной зоне приводят к структурным преобразованиям металла и к значительным пластическим деформациям. Имеющиеся в кромках основного металла дефекты типа расслоений, сульфидных включений в результате такого воздействия раскрываются, поэтому зона термического влияния должна подвергаться неразрушающему контролю до и после сварки.

Результат теплового воздействия на металл в зоне термического влияния подобен реакции данного металла на термическую обработку. Может наблюдаться как закалка с образованием твердых и хрупких структур, так и отжиг со значительным снижением прочности и текучести. Тогда и в аналогичных случаях наиболее слабым местом сварного соединения может быть уже не шов, а зона термического влияния, поэтому приходится принимать специальные меры для изменения теплового режима в процессе сварки и последующей термообработки.

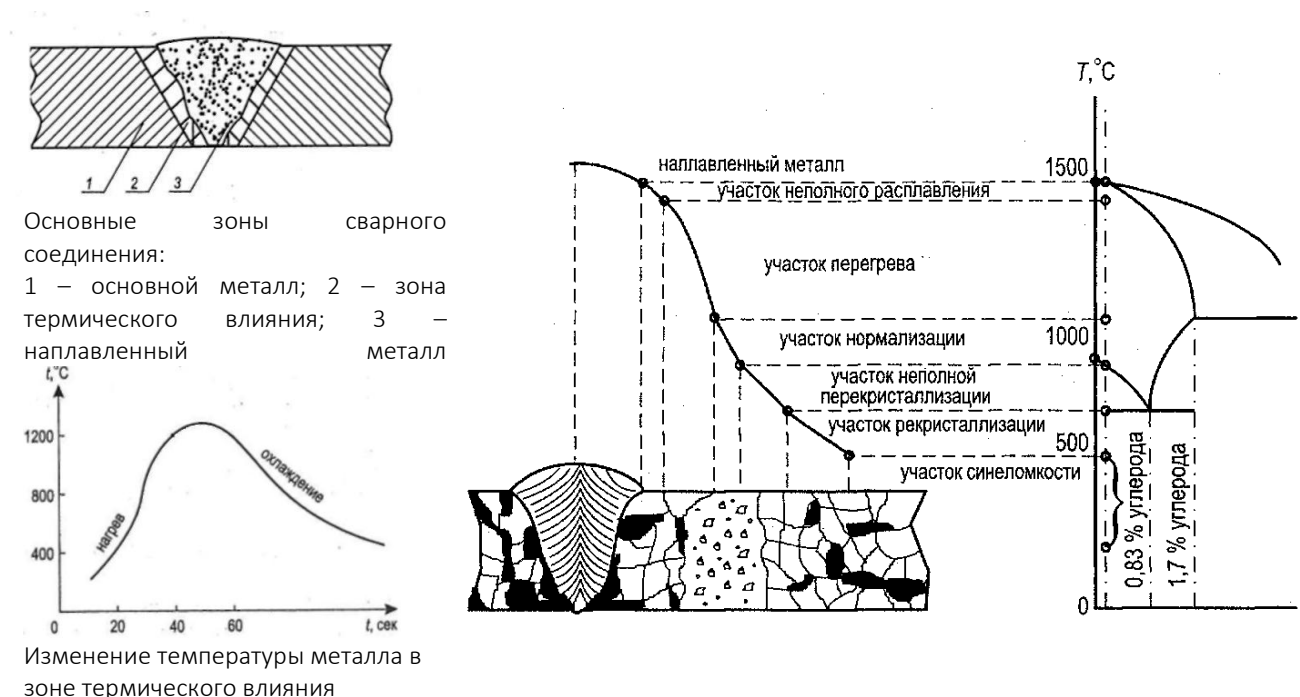


Рисунок 1. Изменение структуры металла в зоне термического влияния

Рассмотрим изменения, происходящие в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали. На Рисунок 1 изображена левая часть диаграммы Fe-C и изменения структуры металла, вызванные сваркой.

В зоне термического влияния различают следующие участки.

Участок неполного расплавления является переходным от металла шва к основному металлу и

представляет собой узкую полоску основного металла при температуре выше температуры его плавления. Этот участок, также называемый зоной сплавления, находится в твердожидком состоянии, что способствует диффузии некоторых элементов; поэтому по химическому составу эта зона отличается как от шва, так и от основного металла. В зависимости от характера источника нагрева и свойств металла ее ширина находится в пределах (0,1 ÷ 0,4) мм. Эта зона имеет важнейшее значение, поскольку по ней наиболее часто проходят разрушения сварных конструкций. Здесь могут возникать трудно выявляемые закрытые трещины.

Участок перегрева называется также зоной крупного зерна. Находится он в пределах температуры плавления 1100 °С. На этом участке металл претерпевает аллотропическое превращение из δ- в γ-железо. В связи с тем, что металл нагревается выше температуры наблюдается перегрев и рост аустенитного зерна. В некоторых случаях ручной и автоматической сварки при перегреве металла с повышенным содержанием углерода и при электрошлаковой сварке всех сталей образуется крупнозернистая структура, которая незначительно снижает пластичность металла. Ширина этого участка (1 ÷ 4) мм.

Участок нормализации охватывает металл, нагретый до (850 ÷ 1100) °С. На этом участке образуется мелкозернистая вторичная структура. Механические свойства металла на нем обычно выше, чем основного металла. Ширина этого участка от 1,2 до 4 мм.

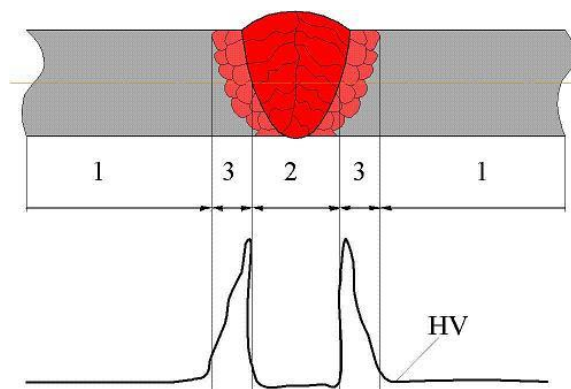
Участок неполной рекристаллизации (перекристаллизации) охватывает металл, подвергшийся нагреву при температуре 700 ÷ 850 °С. Металл, подвергается частичной перекристаллизации, поэтому здесь есть зерна, образовавшиеся при перекристаллизации, и зерна основного металла. Ширина участка 0,5 ÷ 4,0 мм.

Участок рекристаллизации наблюдается при сварке стали, подвергшейся пластической деформации (ковке, прокатке). На этом участке при температуре (550 ÷ 700) °С из обломков зерен зарождаются и растут новые зерна основного металла. Это снижает его прочность и пластичность, поэтому данный участок называют зоной старения металла. Здесь часто происходят разрушения. Если до сварки металл не подвергался пластической деформации, то процесс рекристаллизации не наблюдается.

Участок синеломкости охватывает температурный интервал (200 ÷ 400) °С, когда на поверхности металла появляются синие цвета побежалости. Характерно, что при сварке сталей с повышенным содержанием кислорода, азота и калия на этом участке наблюдается резкое падение ударной вязкости, объясняемое выпадением азота и углерода в виде нитридов и карбидов вокруг дефектов кристаллической решетки, что понижает пластичность и повышает прочность.

Прочность и твердость шва, как правило, ниже, чем у основного материала. Это объясняется тем, что для предотвращения образования трещин при сварке плавлением применяют менее легированный присадочный материал, чем металл заготовок. Пониженная пластичность шва может быть обусловлена крупнозернистой литой макроструктурой и повышенным содержанием газов.

В ЗТВ в результате фазовых превращений возможно существенное изменение твердости и пластичности (Рисунок 2).



1 - основной металл; 2 - шов; 3 - зона термического влияния; HV - твердость;
δ - пластичность (относительное удлинение)

Рисунок 2. Неоднородность механических свойств различных зон сварного соединения

Свариваемость

Говоря о сварке, также немаловажным является понятие свариваемости. Под свариваемостью понимается способность металла образовывать при сварке тем или иным способом сварное неразъемное соединение, удовлетворяющее установленным техническим требованиям.

На практике принято различать несколько качественных степеней свариваемости: хорошая, удовлетворительная, ограниченная и плохая, см. Схема 1.

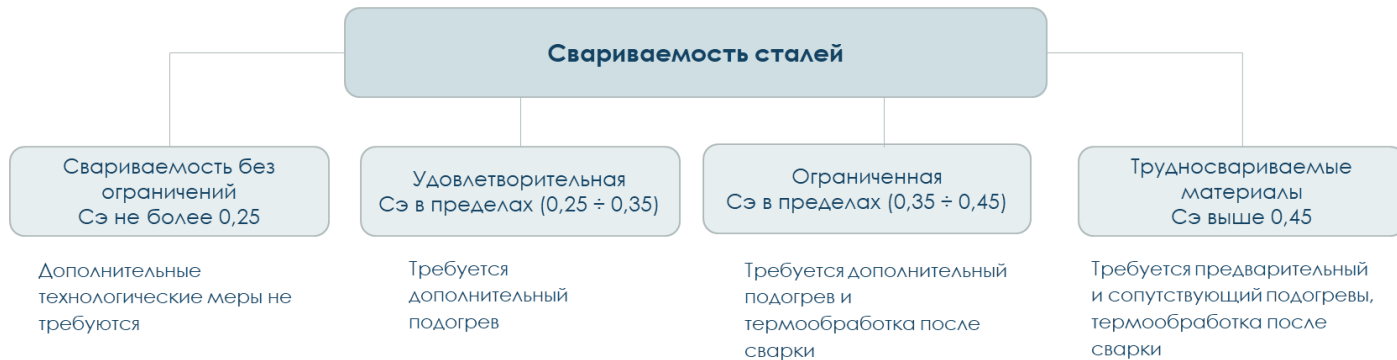


Схема 1. Группы свариваемости материалов

Более точные данные о свариваемости получают по следующим показателям:

- склонность металла шва к образованию горячих и холодных трещин;
- склонность к изменению структуры в околошовной зоне и к образованию закалочных структур;
- физико-механические свойства сварного соединения и соответствие их требованиям условий эксплуатации.

Полные и точные данные о свариваемости получают путем проведения технологических испытаний (проб) и окончательные сведения о свариваемости получают из поведения изделия при эксплуатации.

Приблизительно оценить свариваемость можно по эквиваленту углерода.

Для расчета углеродного эквивалента в России наиболее часто пользуются следующей формулой:

$$[C]_{\text{Э}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15},$$

где Сэ – углеродный эквивалент, С, Мп, Сг, Мо, V, Ni, Cu – массовые доли углерода, марганца, хрома, молибдена, ванадия, никеля, и меди, %.

Аналогичной формулой рекомендует пользоваться и Европейская ассоциация по сварке.

В зависимости от значения углеродного потенциала все стали можно условно разделить на четыре группы:

- *хорошо сваривающиеся стали*, у которых Сэ не более 0,25. Эти стали не дают трещин при сварке, не требуют подогрева и термической обработки.
- *удовлетворительно сваривающиеся стали*, Сэ в пределах (0,25 ÷ 0,35); они обеспечивают сварку без трещин только в нормальных производственных условиях, т. е. при температуре не ниже 0 °С и без ветра, иначе они требуют подогрева при сварке.
- *ограниченно сваривающиеся стали*, у которых Сэ в пределах (0,35 ÷ 0,45). При сварке таких сталей требуется предварительный подогрев.
- *трудно (плохо) сваривающиеся стали*, у которых Сэ выше 0,45. Такие стали можно сваривать с применением предварительного, сопутствующего подогрева и последующей термообработки.

Разница между металлами, обладающими хорошей или плохой свариваемостью, состоит в том, что последние, для получения качественных сварных соединений, должны свариваться по более сложной технологии (например, с предварительным и сопутствующим подогревом; с последующей

термообработкой сварных изделий, в некоторых случаях в специальных камерах с контролируемой атмосферой или в вакууме; иногда с предварительной наплавкой кромок и термообработкой перед сваркой и т.д.).

Т.о, под хорошей свариваемостью понимают возможность получения сварных соединений, равнопрочных с основным металлом, без трещин и снижения пластичности как в металле шва, так и в околошовной зоне при обычной технологии сварки, без применения специальных приемов (например, предварительный подогрев). При этом все зоны сварочного соединения должны обладать стойкостью против перехода в хрупкое состояние при рабочих температурах наравне с основным металлом.

При сварке однородных металлов в месте соединения, как правило, образуется структура, близкая к структуре соединяемых заготовок. В этом случае свариваемость оценивается как хорошая или удовлетворительная. В процессе сварки разнородных материалов в зависимости от степени их взаимной растворимости в соединении могут образовываться твердые растворы, химические и интерметаллические соединения. Механические и физические свойства соединений могут существенно отличаться от свойств свариваемых материалов. При этом высока вероятность образования несплошностей в виде трещин и несплавлений. Свариваемость в этом случае оценивается как ограниченная или плохая.

На свариваемость сталей главное влияние оказывают **углерод и легирующие элементы**. Чем больше содержание углерода в стали, тем хуже свариваемость, больше опасность трещинообразования, труднее обеспечить равномерность свойств сварного соединения. Стали с содержанием *углерода* до 0,35 % свариваются хорошо, а далее, с повышением содержания углерода, свариваемость снижается из-за появления в околошовной зоне закалочных структур и газовых пор вследствие выгорания углерода. Информация о влиянии других легирующих элементов на свариваемость стали и качество сварных соединений представлена в прикладных материалах к данной лекции.

Низкоуглеродистые (содержание углерода до 0,3 %) и некоторые низколегированные стали обладают хорошей свариваемостью и соединяются большинством видов сварки без особых трудностей.

Углеродистые и легированные стали с содержанием углерода 0,3 % и более (сталь 45, 30ХГСА, 40ХНМА и др.), как правило, претерпевают закалку в ЗТВ. Поэтому для сварных соединений этих сталей характерна склонность к образованию в этой зоне холодных трещин, которые появляются при насыщении металла водородом. Для обеспечения хорошей свариваемости этих сталей при дуговой сварке рекомендуют предварительный, сопутствующий и последующий прогрев заготовок до температуры (100 ÷ 300) °С, а также прокалку флюсов, электродов и осушение защитных газов. Контактную сварку этих сталей выполняют на режимах, обеспечивающих подогрев заготовок и замедленное охлаждение после сварки.

При сварке высоколегированных коррозионностойких сталей на режимах, обуславливающих продолжительное пребывание металла в области температур (500 ÷ 800) °С, возможна потеря коррозионной стойкости металла шва и ЗТВ.

При дуговой сварке для предупреждения межкристаллитной коррозии соединений рекомендуется технологический процесс с использованием минимально необходимой погонной энергии, тепловой энергии, затрачиваемой на образование единицы длины шва и с применением теплоотводящих подкладок, уменьшающих время пребывания металла при высоких температурах. Кроме того, последующая закалка сварных заготовок обеспечивает растворение образовавшихся в процессе сварки карбидов хрома и фиксирует чисто аустенитную структуру.

При дуговой сварке аустенитных сталей возможно образование в швах горячих трещин. Образованию трещин способствуют широкий интервал кристаллизации, наличие вредных примесей и крупнозернистая столбчатая макроструктура шва. Аустенитные стали хорошо свариваются контактной сваркой при повышенном давлении.

Общие требования к процессу и технологии сварки

Под технологией сварки понимается совокупность способов, приемов, режимов, позволяющая получить качественное сварное изделие с требуемыми свойствами.

Параметры режима сварки делятся на основные и дополнительные.

К основным параметрам режима сварки относят величину, род и полярность тока, диаметр электрода, напряжение, скорость сварки и величину поперечного колебания конца электрода.

К дополнительным параметрам относят величину вылета электрода, состав и толщину покрытия электрода, начальную температуру основного металла, положение электрода в пространстве (вертикальное или наклонное) и положение изделия в процессе сварки. Сварка стальных конструкций и отдельных узлов должна производиться только после проверки правильности их сборки. При сборке деталей под сварку нужно следить за тем, чтобы кромки правильно располагались одна относительно другой, чтобы выдерживались установленные зазоры, не было перекосов и т. д.

Непосредственно перед сваркой необходимо очистить место сварки, при этом продукты очистки из зазоров между собранными деталями следует удалить. Загрязненная поверхность кромок металла приводит к плохому провару и образованию в сварном шве неметаллических включений. Поэтому перед сваркой кромки, а также прилегающие к кромке участки на ширину (20 ÷ 30) мм должны очищаться до металлического блеска от окалины, ржавчины, масла, краски и других загрязнений. Очистка от окалины, краски и масла может осуществляться непосредственно пламенем сварочной горелки. При этом окалина отстает от металла, а масло и краска сгорают. После нагрева пламенем поверхность зачищается стальной щеткой.

Для того чтобы в процессе сварки установленные зазоры и положение деталей не изменялись, перед сваркой делают предварительную прихватку деталей, т. е. свариваемые детали соединяют друг с другом в нескольких местах короткими швами. Длину прихваток и расстояние между ними выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла и длины шва. При сварке тонкого металла и коротких швах длина прихваток может быть не более 5 мм. При сварке толстого металла и значительных длинах швов длина прихватки может быть (20 ÷ 30) мм при расстоянии между ними (300 ÷ 500) мм. Прихватку следует производить на тех же режимах сварки, что и сварку самого шва, тщательно проваривая участок прихватки. В случае сварки деталей значительной толщины прихватка может заполнять разделку примерно на 2/3 ее глубины. Порядок постановки прихваток имеет важное значение, особенно при сварке длинных швов.

Наложение шва поверх прихваток допускается только после зачистки их от шлака, а мест сварки - от брызг. Неудовлетворительно выполненные прихватки должны быть удалены и, при необходимости, выполнены вновь.

При многопроходной сварке каждый проход шва перед наложением следующего прохода должен быть очищен от шлака и брызг металла. Участки проходов с порами, раковинами и трещинами должны быть вырублены. Перед наложением шва с обратной стороны для угловых соединений со сплошным проплавлением и для стыковых соединений (при ручной подварке и при двусторонней ручной сварке) корень шва должен быть защищен от грата и прожогов. Эти требования являются общими для сварки, выполненной любым способом.

Кромки под сварку. Геометрические параметры

Подготовка кромок металла под сварку производится с целью обеспечения полного провара металла по всей его толщине и получения качественного сварного соединения.

Разделка кромок позволяет вести сварку отдельными слоями небольшого сечения, что улучшает структуру сварного соединения и уменьшает возникновение сварочных напряжений и деформаций. Зазор, правильно установленный перед сваркой, позволяет обеспечить полный провар по сечению соединения при наложении первого (корневого) слоя шва, если подобран соответствующий режим сварки.

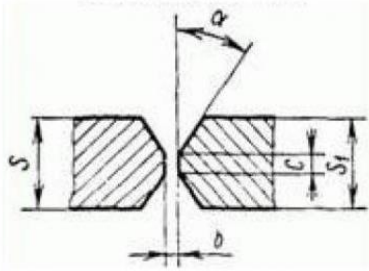
Выбор разделки кромок зависит от толщины соединяемых элементов, теплофизических свойств материала и вида. Дополнительно рекомендуется ознакомиться с ГОСТ 14771 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» и НП -104.

Основные геометрические параметры

Важнейшими элементами подготовленных кромок (см. Рисунок 3), устанавливаемыми стандартами, являются:

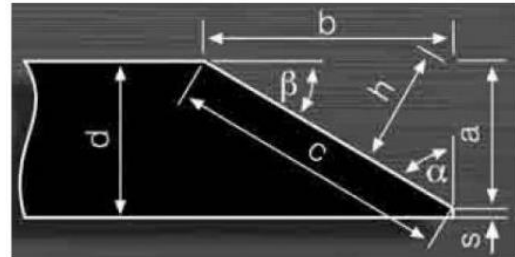
- угол раскрытия шва;
- зазор между стыкуемыми кромками;
- притупление кромок;
- длина скоса при наличии разности толщин;
- смещение δ кромок относительно друг друга

Размеры этих элементов определяют форму сварного шва и влияют на величину площади его поперечного сечения. Таким образом, угол разделки и величина притупления напрямую определяют глубину и характер сплошного проплавления, что определяет качество получаемого сварного шва.



Конструктивные элементы стыкового соединения с разделкой кромок:

S, S₁ – толщина свариваемых деталей; α – угол разделки кромок; c – высота притупления кромок; b – зазор стыка



Конструктивные элементы подготовленной кромки детали для стыковых соединений

a – высота срезаемой кромки; b – ширина срезаемой кромки; c – длина срезаемой кромки; d – толщина детали; h – высота фаски; s – высота притупления кромок; α – угол кромок; β – верхний угол кромок

Рисунок 3. Геометрические параметры кромок под сварку

Угол раскрытия шва (т. е. разделка кромок) необходим 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. При отсутствии разделки кромок для обеспечения провара электросварщик всегда старается увеличить величину сварочного тока. Разделка кромок позволяет вести сварку отдельными слоями небольшого сечения, что улучшает структуру сварного соединения и уменьшает возникающие при сварке напряжения и деформации.

Зазор, правильно установленный перед сваркой, позволяет обеспечить полный провар по сечению соединения при наложении первого (корневого) слоя шва, если подобран соответствующий режим сварки. Зазор обязателен для уменьшения деформаций и напряжений. В нахлесточных соединениях зазор нежелателен.

Длиной скоса листа регулируется плавный переход от толстой свариваемой кромки детали к более тонкой, устраняются концентраторы напряжений в сварных конструкциях. Притупление кромок способствует устойчивому ведению процесса сварки при выполнении корневого шва. Отсутствие притупления способствует образованию прожогов при сварке.

Смещение кромок создает дополнительные сварочные деформации и напряжения, тем самым ухудшая прочностные свойства сварного соединения. Смещение кромок ухудшает прочностные свойства сварного соединения и способствует образованию непровара и концентраций напряжений. Допускается смещение свариваемых кромок относительно друг друга до 10 % толщины, но не более 3 мм. Смещение кромок регламентируется либо требованиями ГОСТ, либо техническими условиями. Кроме того, смещение кромок не позволяет получать монолитного сварного шва по сечению свариваемых кромок.

Скос кромок можно производить различными способами. Самым грубым и малопродуктивным из них является срубание кромок ручным или пневматическим зубилом. При этом способе края кромок получаются неровные. Наиболее ровные и чистые кромки получаются при изготовлении их на специальных кромкострогальных или фрезерных станках. Применение кислородной резки, ручной или

механизированной, для скоса кромок является самым экономичным. Шлаки и окалина, остающиеся после кислородной резки, должны быть удалены с помощью зубила и стальной щетки.

Перед сваркой торцы кромок и прилегающие к ним участки шириной (15 ÷ 40) мм от края очищаются от грязи, ржавчины, масел и т. д. Выбор формы кромок зависит от способа сварки, сварочного оборудования и конкретных условий для обеспечения необходимого качества шва при минимальном сечении разделки.

Типы разделок кромок под сварку показаны на Рисунок 4 .

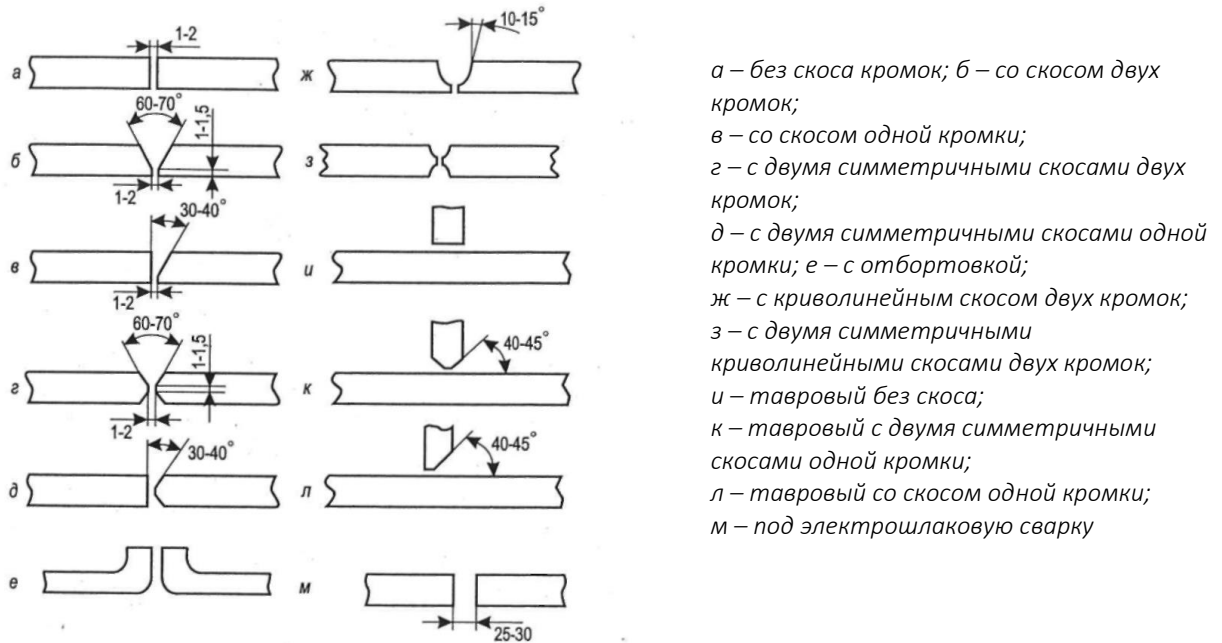
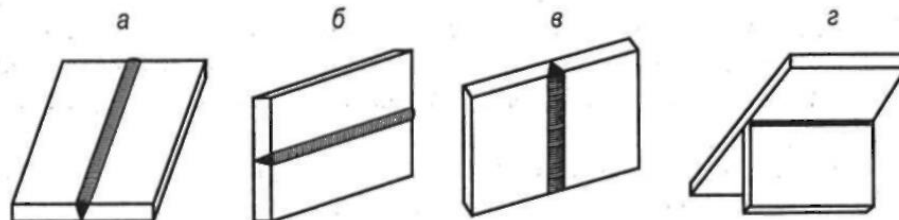


Рисунок 4. Подготовка кромок под сварку

Виды сварных соединений

Сварные швы подразделяются по следующим признакам (см. Рисунок 5):

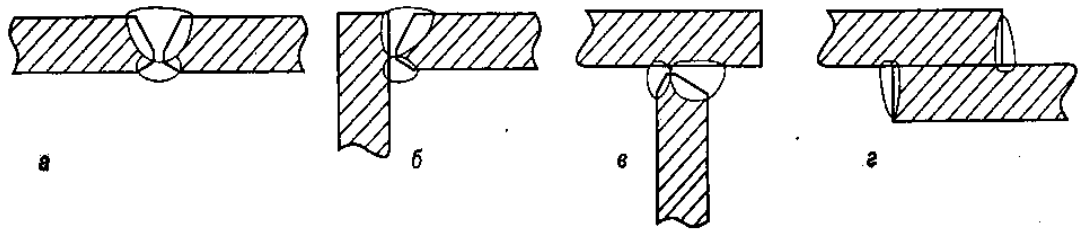
- по положению в пространстве: нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные;
- по типу усиления: нормальные, усиленные и ослабленные;
- по количеству слоев: однопроходные и многопроходные;
- по протяженности: сплошные и прерывистые.



а – нижние; б – горизонтальное; в – вертикальное; г - потолочное

Рисунок 5. Классификация сварных швов по положению в пространстве

Различают следующие типы сварных соединений: стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные (Рисунок 6).



*Рисунок 6. Виды сварных соединений:
а – стыковые; б – угловые; в – тавровые; г – нахлесточные*

Стыковые соединения элементов имеют высокую прочность при статических и динамических нагрузках. Их выполняют ручной дуговой, контактной и др. видами сварки.

Тавровые соединения широко применяют при изготовлении пространственных конструкций. Этот тип соединения выполняют всеми видами сварки плавлением. Сварку давлением для тавровых соединений применяют редко.

Нахлесточные соединения часто выполняют для сварки листовых заготовок. Эти соединения, полученные сваркой плавлением (ручной дуговой, электронно-лучевой), менее прочны, по сравнению со стыковыми соединениями. Они не экономичны вследствие перерасхода основного металла, обусловленного наличием перекрытия свариваемых элементов. Однако этот тип соединения является основным при сварке давлением (контактной точечной и шовной) тонколистовых элементов.

Угловые соединения, как правило, выполняют в качестве связующих. Они не предназначены для передачи рабочих усилий. Их выполняют всеми видами сварки плавлением.

Тип сварного соединения наряду с общими конструктивными соображениями выбирают с учетом обеспечения равнопрочности соединения с основным металлом и технологичности изделия. Применение тех или иных соединений обуславливается характером, а также способом сварки, толщиной металла и др.

Факторы, влияющие на работоспособность сварных конструкций

Технологичность сварных заготовок

Технологичность сварных заготовок обеспечивается выбором материала, типа соединения, формы и размера свариваемых элементов, вида сварки и мероприятий по уменьшению сварочных деформаций и напряжений.

Выбор материалов

При выборе марки материала для сварных заготовок необходимо учитывать не только эксплуатационные свойства, но и технологические мероприятия, обеспечивающие хорошую свариваемость.

Для получения сварных соединений, равноценных по работоспособности основному металлу, при конструировании сварных заготовок следует по возможности выбирать хорошо свариваемые материалы: спокойные низкоуглеродистые стали и многие низколегированные стали, ряд сплавов цветных металлов, применение которых не ограничивается какими-либо требованиями к виду и режиму сварки.

Для малогабаритных изделий возможно применение металлов с пониженной свариваемостью, поскольку при их изготовлении используются оптимальные, с точки зрения свариваемости, виды сварки. Например, для изготовления сварных конструкций из тугоплавких металлов (титана, молибдена и др.) применяют электронно-лучевую сварку.

При проектировании сварных конструкций следует выбирать материал, основываясь на его прочностных характеристиках и свариваемости с учетом возможности появления дефектов. Естественное

появление и вероятностное распределение дефектов, характерных для определенных типов металла и сварки, должны учитываться при проектировании наряду с прочностными характеристиками металла. Практика показывает, что в любом металле (кромке шва) и в сварном шве имеются хотя бы небольшие несовершенства, несплошности. Поэтому кроме свариваемости и прочности металла необходимо, учитывая опыт предшествующих конструкций, закладывать в расчеты появление и определенное распределение допустимых несплошностей, размеры которых меньше критических.

Отсюда несколько основных условий.

Первое условие: получение плотных беспористых швов. Для этого необходимо принимать меры как к ограничению поглощения металлом ванны водорода и азота, так и к торможению реакции окисления углерода в период кристаллизации сварочной ванны.

Вторым условием при выборе сварочных материалов является: получение металла шва, обладающего высокой технологической прочностью, т.е. не склонного к образованию горячих трещин. Химический состав металла шва оказывает решающее значение на состав межзеренных прослоек и тем самым на стойкость шва против образования горячих трещин. Сера, углерод и другие элементы, образующие в сталях прослойки легкоплавких эвтектик, затвердевающие при относительно низких температурах, увеличивают склонность металла шва к образованию горячих трещин. Наоборот, марганец повышает технологическую прочность швов, связывая серу в тугоплавкое соединение MnS .

Присутствие серы наиболее сильно влияет на образование горячих трещин. Увеличение содержания серы в наплавленном металле до (0,035 ÷ 0,040) % часто приводит к образованию горячих трещин.

Повышение содержания углерода в шве сильно увеличивает опасность образования горячих трещин, вызываемых серой. Так, при сварке углеродистых сталей повышение содержания углерода свыше 0,16% приводит к появлению горячих трещин даже при малых количествах серы и достаточно высокой концентрации марганца. Подобно углероду, но в меньшей степени, на технологическую прочность влияет кремний.

Как правило, чем сильнее тот или иной элемент снижает растворимость углерода в аустените, тем в большей степени он способствует образованию горячих трещин в сварных швах.

В исходном состоянии металл шва имеет структуру литого металла, состоящего из пластичного феррита и твердых включений карбидов (цементита). Феррит обладает малой прочностью и высокой пластичностью. Цементит при практически нулевой пластичности обладает высокой твердостью. Объем, занимаемый карбидной фазой, зависит от содержания углерода. Поэтому увеличение содержания углерода повышает прочность и снижает пластичность стали. Следовательно, в сварных швах не должно быть высокого содержания углерода. Это согласовывается и с требованиями технологической прочности. Обычно стремятся, чтобы углерод в швах не превышал 0,12%. Карбидообразующие элементы можно расположить в следующем порядке по убывающей степени их влияния на образование горячих трещин: титан, ванадий, вольфрам, молибден, хром, марганец.

Необходимые механические характеристики металла шва получают путем легирования его такими элементами, которые, повышая прочность, позволяют сохранить достаточно высокие пластичность и ударную вязкость. Марганец, кремний и никель сильно упрочняют феррит, упрочняющее действие хрома, молибдена и вольфрама выражено значительно слабее. Легирование вольфрамом и молибденом сильно снижает ударную вязкость. Легирование кремнием вызывает резкое снижение ударной вязкости лишь при содержании его более 0,5%. Марганец и хром при содержании их до 1%, а никель до – 3% повышают ударную вязкость.

Введение от 1 до 2% никеля повышает прочность металла шва при сохранении пластичности. Введение никеля свыше 2% сопровождается резким усилением дендритной неоднородности и снижает пластичность и ударную вязкость.

Хром снижает пластичность и ударную вязкость металла шва.

Марганец при содержании до 1,2% повышает ударную вязкость. Введение до 1,5% марганца повышает прочность при сохранении достаточной пластичности. Увеличение марганца свыше 1,5% приводит к резкому снижению ударной вязкости как при комнатных, так и при отрицательных

температурах.

Введение более 0,5% кремния снижает ударную вязкость при комнатной температуре и значительно повышает температурный порог перехода металла шва в хрупкое состояние.

Таким образом, при сварке низкоуглеродистых низколегированных конструкционных сталей в металле шва по условиям обеспечения высокой технологической и эксплуатационной прочности должно содержаться небольшое количество углерода (до 0,12 – 0,14%), кремния до 0,5% (обычно 0,1 – 0,4%) и марганца до 1,5% (обычно 0,65 – 1,2%).

Третьим условием при выборе сварочных материалов является получение металла шва, имеющего требуемую эксплуатационную прочность. Если подвергнуть растяжению сварной образец с поперечным швом, то при идентичности механических характеристик и диаграмм растяжения основного и наплавленного металлов, также металла переходной зоны деформации развиваются по закону, определяемому общей диаграммой растяжения. Если же окажется, что металл шва обладает более высоким пределом прочности, то разрушение произойдет по основному металлу. Если предел прочности металла шва меньше, чем основного металла, то разрушение произойдет по сварному шву независимо от его пластичности.

Таким образом при выборе сварочных материалов необходимо учитывать, что для обеспечения высоких эксплуатационных свойств сварного соединения следует применять такие материалы, при использовании которых металл шва получится не только с высокими показателями прочности (предел прочности металла шва должен быть не ниже предела прочности основного металла), но и достаточно пластичным.



В некоторых случаях, например при сварке высокопрочных среднелегированных сталей, невозможно подобрать такие сварочные материалы, которые обеспечивали бы получение равнопрочного шва при достаточной его пластичности. Тогда нужно выбирать материалы с несколько меньшим пределом прочности, но обладающие высокими пластическими свойствами. Работоспособность таких сварных соединений с «мягкой прослойкой» зависит, как показали исследования, от соотношения ее свойств, свойств основного металла и от относительной толщины мягкой прослойки.

Пластическому деформированию прослойки вблизи контактных поверхностей (границ раздела с основным металлом) препятствует прилегающий к ней металл, который имеет более высокий предел текучести. В условиях тесненного пластического течения усилие, необходимое для деформации прослойки, возрастают по сравнению с тем, которое требовалось бы для материала прослойки в случае его свободного деформирования на ту же величину. Такое упрочнение мягкой прослойки называется контактным упрочнением. Контактное упрочнение будет тем больше, чем меньше относительная толщина прослойки $\chi = b/\delta$ (b – ширина прослойки; δ – толщина свариваемого металла). Чем меньше χ , тем заметнее сдерживается деформации прослойки, тем выше эффективность ее контактного упрочнения.

Таким образом, путем подбора соответствующих сварочных материалов и ширины шва можно обеспечить равнопрочность сварного соединения и основного металла даже при мягком металле шва.

Прочностные и пластические свойства металла шва зависят от его химического состава и структуры.

Четвертым условием при выборе сварочных материалов является получение металла шва, обладающего комплексом специальных свойств (например, высокой коррозионной стойкостью, жаропрочностью, износостойкостью и др.).

Так, например, при сварке хромоникелевых аустенитных сталей металл шва для сохранения жаропрочности или коррозионной стойкости должен по своему составу быть близким к составу свариваемой стали. Однако хромоникелевая аустенитная структура металла шва склонна к образованию горячих трещин.

Одним из радикальных методов повышения стойкости высоколегированного хромоникелевого металла аустенитного класса против образования горячих трещин является получение двухфазной аустенитно-ферритной структуры.

Выбор материалов для наплавки слоев с особыми свойствами производят исходя из условий эксплуатации изделия. В этом случае ограничивать содержание углерода и других элементов, увеличивающих склонность к образованию горячих и холодных трещин, не представляется возможным. Тогда главным способом предупреждения трещин при наплавке износостойких сталей и сплавов является предварительный подогрев изделия.

Выбор формы и размеров свариваемых элементов

Сварные изделия, как правило, изготавливают из профилей, литых, кованных и штампованных элементов. При проектировании сварных конструкций необходимо учитывать следующее:

- количество и длина сварных соединений должны быть минимальными, при этом следует отдавать предпочтение прямолинейным и непрерывным швам;
- форма и взаимное расположение соединяемых элементов должны обеспечивать удобство доступа сварного инструмента в зону сварки;
- необходимо избегать пересечения швов в одном узле и сводить к минимуму количество наплавленного металла;
- в зоне сварки не должно быть ступенчатых переходов по толщине (Рисунок 7), несимметрично расположенных элементов. В противном случае возможно разрушение конструкции в результате концентрации напряжений;
- размеры сварных заготовок должны соответствовать возможностям их обработки в термических печах и на металлорежущих станках.

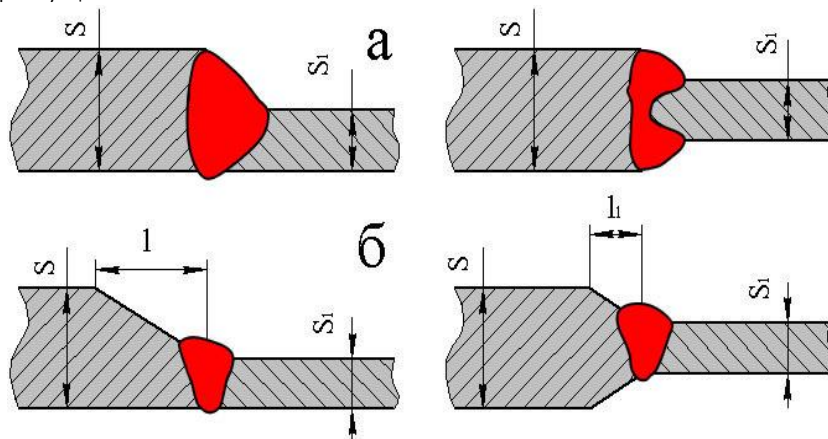


Рисунок 7. Сварка исходных заготовок различной толщины:
 а - при $S/S_1 < 3$; б - при $S/S_1 > 3$, при этом $l > 5(S - S_1)$; в - при $l < 3(S - S_1)$

Указанным рекомендациям соответствуют элементы простой геометрической формы: прямолинейные, цилиндрические, конические и полусферические с длинными прямыми, кольцевыми, стыковыми и тавровыми соединениями между ними. При выборе сортамента материалов для изготовления элементов сварной заготовки необходимо стремиться к минимальному количеству типоразмеров и толщин свариваемых элементов.

На Рисунок 8 показаны варианты сварных двутавровых и коробчатых балок из листового проката (Рисунок 8 а, б, в) и гнутых профилей (Рисунок 8 г, д). Более технологичными являются балки, выполненные из гнутых элементов, так как при их использовании снижается масса изделия, уменьшается трудоемкость его изготовления вследствие сокращения числа элементов и объема сварочных работ.

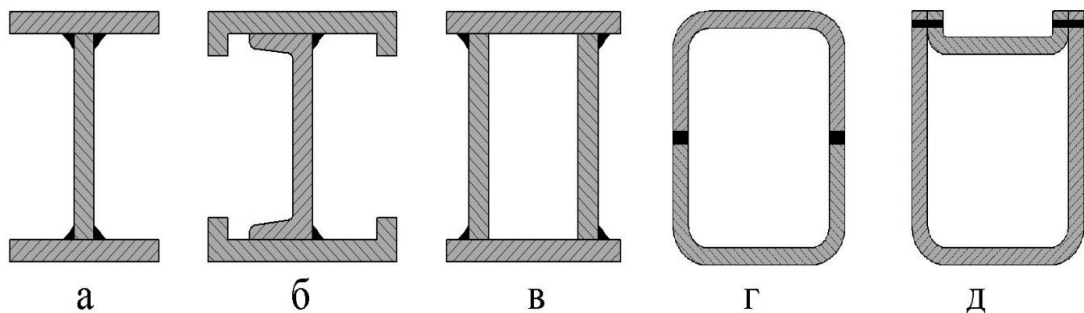


Рисунок 8. Варианты сварных двутавровых и коробчатых балок:
 а, б, в - балка из листового проката; г, д - балка из гнутых профилей

Основным результатом рационального выбора формы и размеров соединяемых элементов соединения является уменьшение массы сварных изделий, трудоемкости и себестоимости их изготовления.

Уточнение вида сварки

Важнейшей задачей при проектировании сварных конструкций является правильный выбор вида сварки исходя из размера и формы соединяемых заготовок, типа сварного соединения и расположения швов в изделии; возможности механизации и автоматизации процесса сварки.

Назначение вида сварки в значительной степени определяется свариваемостью материала заготовок, степенью ответственности изделия и производительностью сборочно-сварочного процесса. Так, для сварки толстолистовых конструкций из стали всех марок и некоторых цветных сплавов широко применяют дуговую и электрошлаковую сварку. В производстве тонколистовых конструкций из сталей и цветных металлов для нахлесточных соединений наиболее распространены точечная и шовная контактная сварка. Изготовление конструкций из алюминиевых, магниевых, титановых сплавов и высоколегированных сталей требует надежной защиты зоны сварки от взаимодействия с газами атмосферы, которая обеспечивается в условиях дуговой сварки под флюсом, аргонодуговой, электронно-лучевой и диффузионной сварки.

Кроме того, при выборе вида сварки стремятся к снижению температуры и времени нагрева ЗТВ, предотвращению химического взаимодействия между разнородными заготовками, а также к уменьшению зоны нагрева и объема расплавленного металла. Поэтому при переходе от дуговой сварки к лучевым видам (лазерная, электронно-лучевая) и к сварке в твердом состоянии значительно уменьшается деформация сварных соединений.

Выбор способа уменьшения сварочных деформаций и напряжений

Изменения формы и размеров заготовок при сварке, вызванные сварочными деформациями, приводят к снижению их точности и назначению больших припусков на механическую обработку резанием. Одновременно с развитием сварочных деформаций в изделиях образуются остаточные сварочные напряжения. Они представляют собой систему внутренних сил, находящихся в равновесии. В процессе последующей механической обработки сварного соединения напряжения перераспределяются, что сопровождается упругими и пластическими деформациями в дополнение к деформациям, полученным ранее в процессе сварки. Например, в результате механической обработки резанием сварных заготовок с высоким уровнем остаточных напряжений могут произвольно изменяться размеры и форма изделия.

Уменьшение сварочных деформаций и напряжений может быть реализовано на этапах конструирования и изготовления заготовок.

Некоторые рекомендации при конструировании сварных деталей приведены в прикладных материалах к лекции (Приложение 2). Обозначения способов сварки и термины в Приложении 3

Основные дефекты сварных соединений

Наиболее часто встречающиеся типы дефектов сварных соединений можно условно разделить на четыре группы:

- по их расположению;
- по форме;
- по размерам;
- по качеству.

По расположению различают дефекты наружные, внутренние и сквозные. По форме – компактные и протяженные, плоские и объемные, острые и округлые. По размерам – мелкие, средние и крупные. По количеству – единичные и групповые.

К наружным дефектам относятся нарушения формы, размеров и внешнего вида швов: неравномерная ширина шва по длине, неравномерная высота шва, неравномерные катеты угловых швов, подрезы, наплывы, прожоги, незаверенные кратеры, свищи.

Дефекты являются концентраторами напряжений.

Опасность технологических дефектов зависит от их «остроты» и протяженности. Если дефект имеет размеры, превышающие допустимые, то изделие бракуется, а дефектное место подвергают ремонту. При этом часть сварного соединения удаляется вместе с дефектом. Образовавшаяся полость заваривается вновь. Размеры дефектов, недопустимые для ремонта оговариваются НД. Необходимо помнить, что ремонт приводит обычно к дополнительным повышенным остаточным напряжениям. На отремонтированном участке дефекты меньших размеров могут быть значительно опаснее, чем более крупные дефекты в изделии перед ремонтом. Один и тот же тип дефекта в отремонтированном шве значительно опаснее, чем в первоначальном соединении.

Трещины – главная опасность при сварке. Они могут быть горячие или холодные. Горячие трещины образуются главным образом в сварных швах различных сплавов в процессе их кристаллизации в некотором интервале температур.

Во время пребывания шва в температурном интервале кристаллизации он находится в твердожидком состоянии, т.е. состоит из твердых кристаллов, окруженных жидкими прослойками. В ряде случаев сварочные деформации и напряжения оказываются достаточными, чтобы вызвать разрушение по жидким межкристаллическим прослойкам, т.е. привести к образованию горячих трещин. Горячие трещины наблюдаются в высоколегированных сталях.

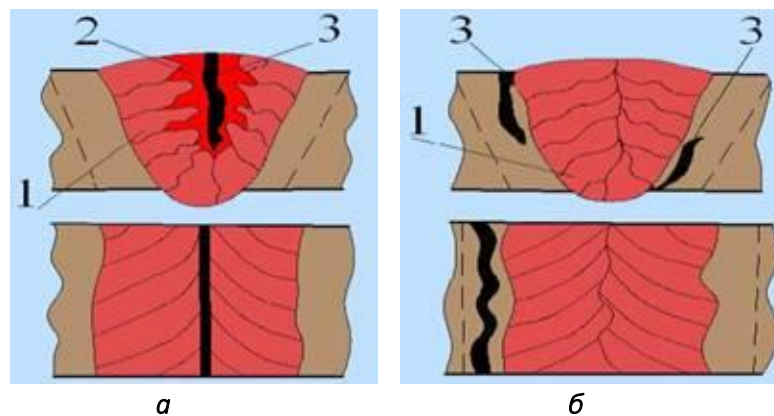


Рисунок 9. Вид трещин сварных соединений: а - горячих; б - холодных; 1 - столбчатые кристаллы; 2 - расположение жидких прослоек при завершении кристаллизации шва; 3 - трещины

Холодные трещины чаще всего возникают в зоне термического влияния после полного затвердевания сварного шва в период завершения охлаждения или последующего вылеживания сварной конструкции (развиваются в течение нескольких часов или даже суток).

Холодные трещины возникают под действием остаточных сварочных напряжений, образуются в сталях перлитного и мартенситного классов, если в процессе сварки происходит частичная или полная закалка металлов в зоне термического влияния (быстрое охлаждение) и насыщении металла шва и зоны термического влияния водородом.

Для оценки склонности металла к появлению *холодных* трещин чаще всего используется углеродный эквивалент.

Трещины в наплавленном металле - продольные и поперечные. В изломе имеют темный цвет, сильно окисленные или светлые, с цветами побежалости.

Причины образования: неправильно выбранная марка присадочного материала; неудовлетворительное качество присадочной проволоки, обмазки или флюса; неправильные режимы и техника сварки; высокие внутренние напряжения в швах; наличие в швах пористости или шлаковых включений.

Холодные трещины в шве и переходной зоне, расположенные под любым углом ко шву, в изломе

светлые или со слабыми цветами побежалости. Возникают при остывании детали в зоне пониженных температур, преимущественно при дуговой сварке низколегированной стали большой толщины. Чаще всего трещины возникают в переходной зоне вследствие неправильной техники сварки или неправильно выбранного присадочного материала.

Горячие трещины образуются главным образом в сварных швах. Они извилисты, в изломе имеют темный цвет, сильно окислены, распространяются по границам зерен.

Мелкие трещины (микротрещины) в шве или надрывы по переходной зоне на нетравленных шлифах под микроскопом видны в виде тонких линий. Возникают вследствие неудовлетворительного качества присадочной проволоки, обмазки или флюса.

Трещины, образующиеся в сварных соединениях при термообработке (закалке) узлов, деталей; могут иметь любое направление. Возникают из-за несоблюдения режимов и условий термической обработки сварных узлов или вследствие неудовлетворительной (нетехнологичной) конструкции детали или узла.

Трещины рихтовочные могут иметь любое направление, в изломе светлые. Причина образования - неправильная технология правки изделий, получивших коробление.

Эффективным средством предотвращения образования горячих трещин в сварных швах является использование сварочных материалов, обеспечивающих аустенитно-ферритную структуру металлу шва с содержанием ферритной фазы не менее 2 %.

Для предотвращения горячих трещин в сварных соединениях стабильноаустенитных сталей:

- сварку рекомендуется выполнять короткой дугой, без поперечных колебаний электродом, усиленными валиками, на пониженных скоростях;
- кратеры швов должны быть тщательно заправлены до получения выпуклой поверхности или вышлифованы, выводить кратеры на основной металл запрещается;
- применять комбинированный способ сварки соединений большой толщины (более 30 мм), при котором слои шва, не соприкасающиеся с агрессивной средой, выполняются сварочными материалами, обеспечивающими меньшую коррозионную стойкость, но повышенную стойкость металла шва против горячих трещин, с повышенным содержанием ферритной фазы;
- при выборе защитной среды (флюса, защитного газа, покрытия электродов) отдавать предпочтение сварочным материалам с низкой окислительной способностью;
- при проектировании сварных конструкций во всех возможных случаях заменять угловые и тавровые соединения стыковыми;
- применение сталей и сварных швов с аустенитной структурой для работы конструкций при температурах ниже минус 100 °С;
- сварщики должны иметь опыт по сварке стабильноаустенитных сталей.

Подрезы – это дефекты сварного соединения, представляющие собой местные уменьшения толщины основного металла в виде продольных канавок. Подрезы относятся к наиболее часто встречающимся дефектам, чаще всего они образуются при сварке угловых швов в случае смещения электрода или при несколько завышенном напряжении дуги.

Одна из кромок проплавляется глубже, жидкий металл стекает на горизонтально расположенную деталь и его не хватает для заполнения канавки. Обычно при повышенном напряжении дуги и завышенной скорости сварки на стыковых соединениях образуются двусторонние подрезы. Такие же дефекты могут образовываться в случае увеличения угла разделки при механизированной и автоматической сварке. Односторонние подрезы всегда образуются при сварке горизонтальных швов на вертикальной плоскости. Подрезы выявляют внешним осмотром и если их глубина и протяженность превышают допустимые нормы, то эти дефекты зачищают и заваривают.

Непровар – отсутствие сплавления между основным и наплавленным металлом в корне шва или по кромке, а также между отдельными слоями-проходами при многопроходной сварке.

Поры и раковины – пузыри (обычно сферической формы) различной величины, заполненные газами (водород, окись углерода). Образуются из-за присутствия газов, поглощаемых жидким металлом в процессе сварки.

Шлаковые включения в металле шва – небольшие объемы, заполненные неметаллическими веществами (шлаками, окислами). Их размер колеблется от микроскопического до нескольких миллиметров в поперечнике. Форма может быть самой различной - от сферической до плоской, вытянутой в виде пленки, которая разделяет прилегающие объемы наплавленного металла.

Наплывы – дефекты сварного соединения, получающиеся, когда жидкий металл шва натекает (наплывает) на основной металл, но с ним не сплавляется. Чаще всего наплывы образуются при заниженном напряжении дуги, наличии на свариваемых кромках толстого слоя окалины, излишнего количества присадочного металла, который в расплавленном состоянии не уменьшается в разделке кромок или в зазоре. При сварке кольцевых поворотных стыковых швов появление наплывов вызывается неправильным расположением электрода относительно оси шва. Наплывы не имеют большой ширины, но вдоль шва в некоторых случаях располагаются по всей длине.

Прожоги – дефекты, которые заключаются в том, что жидкий металл сварочной ванны вытекает через сквозное отверстие в шве с образованием ярко выраженного углубления или отверстия. Первопричиной появления прожогов является завышенный сварочный ток или внезапная остановка сварочного автомата. Кроме этого, следует учитывать и другие причины: неоправданно увеличенный зазор между кромками, недостаточная толщина подкладки или неплотное прилегание ее к основному металлу вдоль кромок. При сварке поворотных кольцевых швов появлению прожогов способствует смещение электрода в сторону вращения изделия, что вызывает стекание жидкого металла из-под конца электрода и более активное прожигающее воздействие дуги. Дефектные места должны быть зачищены и заварены.

Кратеры – это дефекты сварных швов. В местах неправильного обрыва дуги образуется углубление, в котором могут быть усадочные рыхлости, приводящие к образованию трещин. Поэтому эти дефекты чаще всего вырубают, зачищают и заваривают. При механизированных и автоматизированных процессах сварки применяют выводные планки, на которых начинают или заканчивают швы. После сварки эти выводные планки вместе с кратерами удаляются. При правильной настройке автомата кратеры завариваются автоматически за счет плавного снижения сварочного тока.

Свищи – дефекты, которые образуются из канальных пор в виде полостей, выходящих на поверхность.

Влияние дефектов сварных швов

Многочисленные ремонты с целью устранения дефектов приводят к тому, что разрушение происходит из-за локальных напряжений, возникающих после ремонта.

Влияние дефектов, не выходящих на поверхность и имеющих округлую форму (газовые поры, шлаковые включения и т.п.), на усталостную прочность невелико и достаточно хорошо изучено.

В швах стыковых соединений из низкоуглеродистых и аустенитных сталей количество отдельных пор обычно невелико. Считается, что если коэффициент концентрации напряжения от валика усиления выше, чем от пор, то умеренная пористость (до 4 %) не ухудшает несущей способности. При удалении валика усиления даже небольшие поры снижают выносливость на (40 ÷ 70) %. У большинства сварных соединений толщиной до 40 мм сохраняются валики усиления швов. Из-за преобладающего влияния зависимости концентраций напряжения от формы шва, несмотря на значительную пористость, конструкция разрушается по околошовной зоне на границе перехода валика усиления к основному металлу.

Шлаковые включения по сравнению с порами в значительно меньшей степени снижают усталостную прочность, т. к. шлак как упругое тело снижает концентрацию напряжений. Он занимает промежуточное положение между окисными пленками и вольфрамовыми включениями.

Непровар – уменьшает сечение шва и является концентратором напряжений. Влияние непровара определяется разностью прочностных свойств шва и основного металла. Непровары образуются при загрязнении кромок, неправильной их подготовке, неустойчивом режиме сварки.

Наплавка

Наплавка – нанесение расплавленного металла на поверхность изделия, нагретую до оплавления или до температуры надежного смачивания жидким наплавленным металлом.

Наплавку применяют для создания на деталях поверхностных слоев с требуемыми свойствами (износостойкость, коррозионная стойкость), а также для восстановления исходных размеров изношенных деталей. Например, наплавку используют для изготовления деталей из конструкционных, сравнительно дешевых сталей, на рабочие поверхности которых наплавляют износостойкий, жаростойкий или иной специальный сплав. Наплавка металла на поверхность детали дает возможность придать ей необходимые достаточные механические и физико-химические свойства и тем самым повысить надежность и долговечность работы и снизить себестоимость.

При наплавочных работах, как правило, необходимо получать минимальное проплавление основного металла и минимальное перемешивание основного и наплавленного металла для того, чтобы сохранить механические свойства наплавленного слоя. В то же время наплавленный металл должен прочно соединяться с металлом основы и не должен содержать пор, шлаковых включений, раковин трещин и др. дефектов.

Также необходимо обеспечение минимальной зоны термического влияния и минимальных напряжений и деформации. Это требование обеспечивается за счет уменьшения глубины проплавления регулированием параметров режима, погонной энергии, увеличением вылета электрода, применением широкой электродной ленты и другими технологическими приемами.

Наплавка может производиться на плоские, цилиндрические, конические, сферические и другие формы поверхности в один или несколько слоев. Толщина слоя наплавки может изменяться в широких пределах от долей миллиметра до сантиметров.

Наплавлять можно металл одинаковый по составу, структуре и свойствам с основным металлом, или значительно отличающийся от него. В последнем случае на основной металл предварительно наплавляют промежуточные слои.

Выбор технологических условий наплавки производят, исходя из особенностей материала наплавляемой детали. Наплавку деталей из низкоуглеродистых и низколегированных сталей обычно производят в условиях без нагрева изделий. Наплавка средне- и высокоуглеродистых, легированных и высоколегированных сталей часто выполняется с предварительным нагревом, а также с проведением последующей термообработки с целью снятия внутренних напряжений. Нередко такую термообработку (отжиг) выполняют после наплавки для снижения твердости перед последующей механической обработкой слоя.

В процессе наплавки в изделии появляются значительные внутренние напряжения, которые приводят к его короблению, а иногда и к разрушению. К мерам, принимаемым для предотвращения возникновения напряжений или снятия их с целью уменьшения деформации изделия, относятся следующие: предварительный подогрев до $(200 \div 400)^\circ\text{C}$; ведение наплавки с погружением изделия в воду без смачивания наплавляемой поверхности; ведение процесса при жестком закреплении изделия в приспособлении; предварительный изгиб изделия в направлении, обратном ожидаемому изгибу; высокотемпературный отпуск после наплавки с нагревом до $(650 \div 680)^\circ\text{C}$.

Наплавка может быть осуществлена различными способами. Основные вид наплавки представлен в Приложении 4.

Для выполнения наплавки в основном применяют способы дуговой и электрошлаковой сварки. При выборе наиболее рационального способа и технологии наплавки следует учитывать условия эксплуатации наплавленного слоя и экономическую эффективность процесса.

Перейдем к практическому опыту. Корпусы первых энергетических реакторов в ряде стран защищались от коррозии со стороны воды тонкостенной облицовкой из аустенитной стали, присоединенной к корпусу точечной сваркой. Указанная конструкция оказалась неудачной из-за

появления трещин в местах приварки. В настоящее время повсеместно в мировой практике для защиты корпуса реактора от общей и язвенной коррозии используют антикоррозионную наплавку сварочной проволокой или лентой.

К антикоррозионным наплавкам из аустенитных сталей и сплавов при изготовлении корпусов реакторов АЭС предъявляются следующие основные требования:

- высокая коррозионная стойкость;
- гарантия отсутствия дефектов по линии сплавления с основным металлом;
- отсутствие трещин в наплавке;
- удовлетворительная пластичность и вязкость после всех технологических отпусков;
- отсутствие недопустимого отрицательного влияния на механические свойства основного металла.

В качестве материала наплавки энергетических реакторов в зарубежном реакторостроении нашли преимущественное применение коррозионностойкие стали. Известны также случаи использования для наплавки сплавов с повышенным содержанием Ni, например, сплавы типа «инколой», «иконель». Одним из характерных дефектов, связанных с антикоррозионной наплавкой, является возможность образования трещин в основном металле под аустенитной наплавкой в зоне теплового воздействия. Трещины образуются по границам крупных зерен в зоне перегрева металла на глубине (2,5 ÷ 5,0) мм.

Процесс наплавки ведет к образованию крупнозернистой структуры. При последующей термообработке корпуса реактора деформационная способность крупнозернистого металла оказывается недостаточной для компенсации пластической деформации, возникающей вследствие разницы коэффициентов линейного расширения наплавки, стали. Образованию трещин под наплавкой способствует увеличение содержания углерода, хрома до 2,0 %, ванадия и примесных легкоплавких элементов в реакторной стали.

Считается, что образование трещин под аустенитной наплавкой может быть устранено с помощью применения двухслойной наплавки, процессов наплавки с малой погонной энергией, плакирующего материала с термическим коэффициентом расширения, близким таковому для плакируемого материала, оптимизации состава основного металла по C, Cr, V, Mn и др.



Как правило наплавка антикоррозионного покрытия на поверхность корпуса реактора производится в два слоя. Первый слой толщиной порядка 4мм выполняется лентой из стали 07X25H13, второй слой – лентой из стали 08X19H10Г2Б. При этом суммарная толщина обоих слоев составляет в среднем 8 мм. Применение для первого слоя глубокоаустенитной стали 07X25H13 позволяет свести к минимуму хрупкую прослойку мартенсита, образующуюся в переходной зоне в результате перемешивания основного и наплавляемого металлов в процессе наплавки. Применение двухслойной антикоррозионной наплавки типично и для современного зарубежного реакторостроения. Известны, однако, примеры применения однослойной наплавки толщиной до 6 мм. Контроль сплошности по зоне сплавления наплавки с металлом корпуса реактора и проверка отсутствия поднаплавочных трещин осуществляется методом ультразвуковой дефектоскопии, а контроль качества наплавки – методом цветной дефектоскопии. Во избежание возможного проявления склонности наплавки к межкристаллитной коррозии температура и число технологических отпусков корпуса в процессе изготовления должны быть регламентированы. Из аустенитных сталей изготавливаются также корпуса циркуляционных насосов и арматуры. Для этого используются в основном кованные заготовки. Улучшение качества литья и совершенствование методов неразрушающего контроля делают возможным применение для корпусных деталей фасонных отливок из нержавеющей сталей. В частности, из стали типа Х13НДЛ были изготовлены литые корпуса насосов и арматуры для АЭС с ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.

Для всех движущихся деталей, соприкасающихся с активной средой, необходимо применение специальных мер для обеспечения работоспособности трущихся пар, особенно в арматуре с большими номинальными диаметрами. В этом случае проблема работоспособности деталей в условиях трения обычно решается посредством нанесения на поверхность кобальтового сплава (стеллита) с повышенной твердостью хотя бы на одну из поверхностей скольжения. Коррозионно-эрозионные повреждения этих участков должны быть минимальны во избежание загрязнения контура сильно активирующимся кобальтом. Обычно количество циркулирующего через активную зону теплоносителя велико, поэтому циркуляция его по первому контуру осуществляется по нескольким петлям (от 4 до 8). Но даже при таком числе петель диаметры трубопроводов циркуляционных контуров получаются большими (до 700 мм и более).

Дефекты наплавки

Основные дефекты наплавки — трещины в наплавленном слое и в зоне сплавления с основным металлом детали, поры и раковины, шлаковые включения, несплавления слоя с основным металлом, надрывы и др.

Дефекты могут быть внешними, выходящими на поверхность наплавки, и внутренними, располагающимися внутри наплавленного слоя.

Внешние дефекты обнаружить сравнительно легко путем осмотра наплавки, с помощью магнитной дефектоскопии и др. Обнаружение внутренних дефектов представляет сложную и не всегда надежно разрешимую задачу. В этом случае пользуются следующими методами контроля: просвечиванием рентгеновскими или гаммалучами, магнитной и ультразвуковой дефектоскопией, металлографическими исследованиями макро- и микрошлифов и др.

Трещины

Трещины – наиболее распространенный дефект всех разновидностей наплавки и наиболее опасный дефект наплавки, так как под воздействием быстроизменяющихся нагрузок или тепловых колебаний они могут развиваться, т. е. увеличиваться в размерах, что может привести к преждевременному выходу детали из строя. В связи с этим контролю на обнаружение трещин необходимо уделять наиболее серьезное внимание.

Трещины могут возникнуть как в наплавленном слое металла, так и в основном металле. Трещины существенно снижают эксплуатационные характеристики наплавленного слоя.

При наплавке на основной металл с неудовлетворительной свариваемостью или при высокой твердости наплавленного металла зачастую образуются сварочные трещины, что может быть связано с чрезмерно большими термическими напряжениями, возникающими, в частности, при сплошной наплавке по большой поверхности.

Вероятность возникновения трещин при наплавке так же, как и при сварке, определяется химическим составом основного и присадочного материала, жесткостью наплавленной конструкции, режимом наплавки и тесно связана с формированием первичной структуры и скоростью охлаждения. Кроме того, следует иметь в виду, что различные коэффициенты термического расширения основного металла и наплавленного слоя существенно повышают вероятность их появления.

Возникновение трещин зависит от содержания углерода и серы в наплавленном металле, от недостаточного предварительного подогрева детали при наплавке, жесткости изделия и пр. Холодные трещины могут возникать при отсутствии замедленного охлаждения детали после наплавки.

Для предотвращения образования трещин обычно применяют следующие меры:

- предварительный и сопутствующий подогрев во время наплавки для поддержания заданной температуры нагрева основного металла;
- нагрев изделий непосредственно после наплавки и замедленное охлаждение наплавленного металла;
- последующую термообработку для снятия напряжений;
- наплавку пластичного подслоя на поверхность основного металла, обладающего неудовлетворительной свариваемостью;
- уменьшение числа слоев при многослойной износостойкой наплавке;
- выбор для износостойкой наплавки способов, вызывающих меньшие термические напряжения в изделиях; при наплавке участков поверхности с потенциальной концентрацией напряжений следует применять, например, наплавку в два приема;
- правильный выбор наплавочного материала для первого слоя коррозионностойкой наплавки с учетом характера влияния основного металла на состав наплавленного слоя;
- выполнение наплавки только после удаления с поверхности основного металла поверхностного слоя, содержащего дефекты или имеющего повышенную твердость.

Поры и раковины

Поры образуются при использовании влажного или отсыревшего флюса, при наличии ржавчины на наплавляемых поверхностях, при недостаточном слое флюса и др. Поры появляются при наплавке по металлу, ранее наплавленному электродами с меловой обмазкой, который содержит повышенное количество азота. Поры — менее опасный дефект, чем трещины, но они снижают износостойкость и прочность наплавленного металла.

Для предотвращения образования пор и раковин необходимо:

- зачищать поверхности основного металла от ржавчины, масла и других загрязнений;
- обеспечивать хранение флюса и наплавочных материалов в условиях, исключающих поглощение влаги, и их прокалку перед использованием для наплавки;
- воздерживаться от подачи наплавочного материала к очагу наплавки до момента запотевания поверхности основного металла при газовой наплавке и от резкого удаления пламени при окончании наплавки, применять горючие смеси, обеспечивающие получение науглероживающего пламени;
- воздерживаться от применения при дуговой наплавке большой силы тока и излишних поперечных колебаний электрода, поддерживать оптимальную длину дуги;
- предотвращать проведение наплавки в условиях неудовлетворительной защиты зоны дуги (обеспечение необходимой защиты сварочной ванны флюсом-шлаком или защитным газом).

Шлаковые включения чаще наблюдаются при многослойной наплавке. Они являются результатом наплавки по неудаленной или плохо удаленной шлаковой корке с предыдущих слоев. Шлак не успевает расплавиться и всплыть на поверхность металла, вследствие чего остается в металле в виде шлаковых включений.

Несплавления наплавленного металла с основным металлом детали могут образоваться при несоответствии, например, выбранной скорости наплавки и типа оборудования, неправильной установке электрода, загрязнении наплавляемых поверхностей, нарушении режима наплавки и др. Наличие этих дефектов может привести к отколу наплавленного слоя в процессе работы восстановленной детали.

Причина наплывов и подрезов в наплавленном слое — нарушение режима наплавки (силы тока, напряжения дуги, скорости наплавки, смещение электрода с зенита при наплавке цилиндрических деталей, изменение размера вылета электрода и др.).

Причиной поверхностных дефектов наплавленного слоя может быть и плохая устойчивость дуги.

Подрезы

Для предотвращения подрезов, особенно характерных для наплавки ленточными электродами, необходимо:

- исключать наклон наплавляемой поверхности более чем на 3° к горизонту
- воздерживаться от чрезмерного повышения скорости наплавки;
- обеспечивать надлежащее положение дуги, исключающее магнитное дутье;
- выбирать оптимальный способ наложения валиков с необходимым их перекрытием.

Кроме перечисленных, возможно возникновение других дефектов, в том числе застревание шлака в наплавленном металле, неудовлетворительное сплавление наплавленного слоя с подложкой, деформация изделия и др.

Связанные с застреванием шлака и плохим сплавлением дефекты возникают при недостаточной силе тока и низком напряжении при дуговой наплавке или при неправильном манипулировании — подаче присадочного материала. Для предотвращения таких дефектов необходим правильный выбор способа и режима наплавки.

Одна из серьезнейших проблем наплавки — *деформация изделий*, для предотвращения которой применяют равномерный предварительный подогрев изделия, различные приемы наплавки, исключающие неравномерную деформацию изделия, сварочные приспособления, зажимные устройства и др. Предварительная оценка возможной деформации составляет важнейшую предпосылку правильного выбора мер предотвращения ее при наплавке.

Дополнительно рекомендуется ознакомиться с ГОСТ 30242-97 (который классифицирует и описывает дефекты); ГОСТ Р 50.05.08-2018 (описывает поверхностные дефекты), а также требования НП-104 и НП-105 для оборудования АЭС.

Контроль качества сварных соединений и наплавленных поверхностей

Регламентирующие документы (могут быть уточнены и дополнены в рамках конкретного проекта): НП-104, НП-105, ПНАЭ Г-7-009; ПНАЭ Г-7-010. На основании требований данных документов для оборудования 1, 2, 3 классов безопасности (иногда и для 4го, или для судовой промышленности) разрабатываются таблицы контроля качества, которые подлежат согласованию в установленном порядке.

Для удобства оценки сварных швов вводят следующие понятия: однотипное сварное соединение и контрольное сварное соединение

Однотипными сварным соединением считаются производственные сварные соединения, имеющие одинаковые конструктивно-технологические признаки: одинаковую конструкцию, аналогичную форму раздела кромок, выполненные по единому технологическому процессу (одним способом сварки, в одних и тех же положениях, сварочными материалами одной марки и одного диаметра, при одних и тех же режимах сварки, подогрева и термообработки и т. п.) на элементах из стали одной марки, при соотношении максимальных и минимальных толщин и наружных диаметров не более 1,65. Максимальные и минимальные размеры толщин и диаметров принимаются по номинальным значениям размеров свариваемых элементов. При выполнении сварных швов на плоских элементах или на цилиндрических с диаметром более 750 мм учитывается только соотношение толщин. Однотипность угловых и тавровых сварных соединений оценивается по соотношению толщин и диаметров только привариваемых элементов, для которых максимальное соотношение не должно превышать 1,65. Соотношение максимальной и минимальной толщины основных элементов не должно превышать 2,0 а соотношение диаметров может не учитываться.

Контрольным сварным соединением считается сварное соединение, идентичное контролируемому производственным соединениям: должны быть одинаковы марки стали соединяемых элементов, их толщина и диаметр, тип и конструкция соединения, форма разделки кромок. При контроле однотипных соединений толщина и диаметр контрольного сварного соединения должны соответствовать одному из типоразмеров сварных соединений. Технологический процесс выполнения контрольного сварного соединения должен соответствовать технологическому процессу, применяемому при изготовлении контролируемого оборудования или при соединении его с трубопроводом. Должны применяться тот же способ сварки, в том же положении, те же сварочные материалы, той же марки и того же диаметра, при тех же режимах, с тем же подогревом, с той же термообработкой и т. п. Контрольные сварные соединения должны выполняться в тот же период времени, что и контролируемые ими производственные сварные соединения, тем же сварщиком, на том же оборудовании и по той же технологии, под наблюдением специально выделенных ответственных лиц — представителя ОТК, мастера или других специалистов.

Контрольные сварные соединения выполняются на специальных припусках или на приварных контрольных пластинах совместно со сваркой основного изделия либо отдельно от изделия, если совместное их изготовление невыполнимо. Качество сварного шва оценивается по результатам наиболее ответственной из предъявляемых контрольной пробой соединений. При обнаружении неисправимых дефектов все производственные сварные соединения должны быть проверены в полном объеме тем же методом дефектоскопии, которым выявлены дефекты, за исключением случаев, когда производственные сварные соединения подвергаются 100-процентному контролю. Контрольное сварное соединение с дефектом бракуется и должно быть снова выполнено тем же сварщиком для повторного контроля.

Для контроля качества сварных соединений и наплавленных поверхностей применяются следующие методы *неразрушающего* контроля:

- визуальный контроль для определения качества формирования наплавленного металла, наличия трещин, отколов, свищей и других дефектов, выходящих на поверхность наплавленного металла;
- люминесцентный или цветной контроль с целью выявления дефектов, выходящих на поверхность наплавленного металла, но не выявляемых визуально;
- магнитный контроль для выявления дефектов на поверхности и на небольшой глубине под

поверхностью наплавленного металла;

- ультразвуковой контроль, гамма- и рентгенодефектоскопия для выявления дефектов в наплавленном слое и на границе сплавления.

Как правило, *разрушающим* методам контроля подвергают образцы-свидетели, которые наплавляют и одновременно подвергают термообработке со штатными изделиями. К этой группе методов контроля можно отнести:

- контроль химического состава наплавленного металла;
- механические испытания и контроль твердости наплавленного металла (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение и сужение, ударная вязкость, прочность сцепления основного и наплавленного металла на срез и отрыв);
- коррозионные испытания.

Могут быть использованы и другие методы, если они предусмотрены действующими Правилами контроля сварных соединений, техническими условиями на изготовление оборудования или требованиями рабочих чертежей. Результаты контроля сварных соединений фиксируются в соответствующих документах.

Все сварные соединения должны иметь клеймение или иное условное обозначение, позволяющее установить фамилию сварщика, выполнившего это соединение. Система клеймения устанавливается соответствующей инструкцией.

Внешнему осмотру и измерению размеров шва подлежат основной металл и все швы по всей длине. При проверке выявляются поверхностные дефекты и отклонения от заданных размеров. Осмотр и измерение сварных соединений должны проводиться с обеих сторон шва, если они доступны для контроля. В целях обеспечения качественного контроля поверхность сварного шва или наплавки, а также прилегающие к нему в обе стороны от шва участки основного металла шириной не менее 20 мм до осмотра должны быть очищены от шлака, брызг расплавленного металла и других загрязнений и зачищены.

Механические испытания прочности сварных соединений производятся в соответствии с требованиями ГОСТ 6996-66. Механическим испытаниям подвергаются стыковые сварные, соединения для проверки соответствия их прочностных и пластических свойств требованиям соответствующих стандартов, требований КД и технических условий на изготовление оборудования. Основные виды механических испытаний на растяжение, на статический изгиб или сплющивание и на ударную вязкость выполняются с использованием образцов, изготавливаемых из контрольных (или производственных) сварных соединений.

Из каждого контрольного стыкового сварного соединения должны быть вырезаны:

- два образца для испытания на растяжение;
- два образца для испытания на статический изгиб;
- три образца для испытания на ударную вязкость;
- два образца (шлифа) для металлографического исследования.

Из контрольных угловых и тавровых сварных соединений вырезаются только шлифы для металлографического исследования. Механические свойства антикоррозионной наплавки определяются по результатам испытаний наплавочных материалов, проводимых согласно требованиям технических условий на приемку аустенитных сварочных материалов, предназначенных для выполнения антикоррозионного покрытия.

Механические испытания сварных соединений труб диаметром менее 100 мм при толщине стенки менее 12 мм могут проводиться с использованием как отдельных образцов, так и цельных стыков со снятым усилением и удаленным гратом. Испытания последних на статический изгиб заменяются испытанием на сплющивание. Достаточно испытания по одному контрольному стыку на сплющивание и растяжение. Металлографическое исследование в этом случае выполняется на специально свариваемых контрольных соединениях.

При испытаниях на статическое растяжение определяются следующие механические характеристики: условный предел текучести, предел прочности; относительное удлинение после разрыва. Испытывается наиболее слабый участок шва при нормальных и повышенных температурах.

При испытаниях на ударный изгиб определяется ударная вязкость различных участков сварного соединения и наплавленного металла шва и околошовной зоны. Испытания на изгиб проходят сварные соединения в соответствии с ГОСТ 6996—66.

Твердость наплавки проверяется после окончательной термообработки. Контроль деталей с недоступными для замера твердости поверхностями выполняется на контрольных пробах. Детали с открытыми наплавленными поверхностями контролируются непосредственно, при этом твердость определяется на высоте рабочей поверхности наплавки по чертежу с припуском на окончательную механическую обработку не более 0,5 мм.

Гидравлическое испытание целостности швов и прочности соединения оборудования к трубопроводу проводится в собранном виде. Помимо этого, гидравлическому (или пневматическому) испытанию подвергается арматура после установки ее на трубопроводе при испытании всей системы или контура. При гидравлическом испытании в полости детали или конструкции создается пробное давление, под действием которого вода просачивается через рыхлости, трещины, непровар и т. п. Наружным осмотром определяют место течи, потение и другие проявления возможных дефектов сварки.

Сварные соединения или наплавка арматуры из сталей аустенитного класса испытываются на стойкость против межкристаллитной коррозии. Необходимость и метод испытаний устанавливаются техническими условиями на изготовление арматуры и указаниями рабочих чертежей. Испытания и оценка качества проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 6032. Испытания выполняются по методу АМ с дополнительным провоцирующим нагревом (в случае термообработки шва или наплавки) или без него. Если проводились опытные наплавки применяемых аустенитных материалов и пробы подвергались термообработкам не меньше, чем штатное изделие в процессе изготовления с учетом дополнительной термообработки в случае ремонта сварных швов, то сертификационные данные испытаний, выполненных в соответствии с техническими условиями на приемку аустенитных сварочных материалов, считаются достаточными и дополнительные испытания не требуются. Качество сварного шва и наплавки считается удовлетворительным, если при изгибе или сплющивании после кипячения в химическом реактиве на поверхности образцов отсутствуют трещины или надрывы межкристаллитного характера.

Контроль содержания ферритной фазы (СФФ)

Контроль содержания ферритной фазы производится для заготовок свариваемых деталей. Для заготовок деталей, не подлежащих сварке, необходимость проведения контроля указывается в КД. Для деталей, подлежащих наплавке твердыми износостойкими материалами, контроль содержания ферритной фазы не проводится.

Количество ферритной составляющей ограничивается во избежание как горячих трещин при сварке, так и охрупчивания от теплового старения.

Присутствие ферритной фазы может ухудшать служебные свойства сталей в области криогенных температур, но благотворно влиять на них в условиях коррозии под напряжением. Так же имеет место явление охрупчивания основного металла и сварных швов хромоникелевых сталей при содержании СФФ более $(4 \div 5) \%$ при длительной выдержке при сравнительно низких температурах $(300 \div 350) ^\circ\text{C}$ из-за возникновения в ферритной фазе другой чрезвычайно мелкой охрупчивающей σ -фазы.

Регламентирование и контроль СФФ в хромоникелевых сталях аустенитного и аустенитно-ферритного классов являются составной частью мер по обеспечению качества изделий во многих отраслях промышленности в нашей стране и за рубежом.

СФФ ограничивается как в сварочных материалах, так и в материале свариваемых деталях.

Содержание ферритной фазы определяется в металле, наплавленном аустенитными сварочными материалами в случае, если это содержание регламентировано стандартами или ТУ на соответствующий сварочный материал. Объем контроля должен соответствовать требованиям КД, таблицам контроля качества, стандартам и ТУ на материал, НП-104, НП-105.

Определение содержания ферритной фазы в наплавленном металле должно выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53686-2009.

Лекция 08: Общие вопросы сварки и наплавки

Содержание ферритной фазы в наплавленном металле должно быть в пределах от 2 до 8 % для сварных соединений деталей, работающих при температуре до 350 °С включительно, и от 2 до 5 % — для сварных соединений деталей, работающих при температуре свыше 350 °С, но в любом случае не должно превышать значений верхнего предела, установленного в документах по стандартизации на соответствующие сварочные (наплавочные) материалы.

Эффективным средством предотвращения образования горячих трещин в сварных швах является использование сварочных материалов, обеспечивающих аустенитно-ферритную структуру металлу шва с содержанием ферритной фазы не менее 2 %.

НД, регламентирующие различные методики определения ФФ приведены в Приложении 5.

Приложение 1. Влияние легирующих элементов

Марганец содержится обычно в стали в количестве от 0,3 до 0,8 % и не затрудняет сварку. Считается, что при содержании до (1,5 ÷ 2) % марганец не оказывает существенного влияния на свариваемость. При повышенном содержании прочность, твердость и склонность к закалке увеличиваются и это приводит к риску образования холодных трещин. При сварке сталей с высоким содержанием марганца (более 11 %) происходит его выгорание. В этом случае необходимо восполнять марганец через покрытие электрода или флюсы.

Кремний содержится в обычной углеродистой стали в количестве от 0,02 до 0,3 % и не влияет на свариваемость. При (0,8 ÷ 1,5) % кремний затрудняет сварку, т. к. придает стали жидкотекучесть и образует тугоплавкие окислы и сплавы.

Сера является вредной примесью и ухудшает свариваемость, образуя горячие трещины.

Фосфор является вредной примесью и ухудшает свариваемость, т. к. образует хрупкое фосфористое железо, которое придает стали хладноломкость.

Хром – повышает прочность, твердость, закаливаемость и устойчивость против коррозии, но ухудшает свариваемость. При содержании до 1 % не оказывает заметного влияния. Однако, при повышенном содержании снижает свариваемость за счет образования тугоплавких оксидов хрома. Кроме того, в ЗТВ резко повышается твердость из-за образования карбидов хрома. Также хром способствует появлению закалочных структур.

Никель повышает прочность и пластичность, улучшает свариваемость, но при сварке требуется защита от кислорода воздуха во избежание выгорания никеля. Нейтрализует негативное влияние хрома.

Медь в количестве до 0,5 % входит в состав ряда низколегированных сталей и не ухудшает свариваемость.

Ванадий придает стали прочность, вязкость, упругость, ухудшает сварку, т. к. способствует образованию закалочных структур.

Молибден повышает ударную вязкость и жаропрочность. Оказывает отрицательное влияние на свариваемость, т.к. способствует образованию трещин в металле сварного шва и ЗТВ. Также молибден активно выгорает при сварке.

Титан повышает ударную вязкость, жаропрочность, улучшает свариваемость, способствует измельчению зерна, энергичный раскислитель. Связывает углерод, препятствуя образованию карбидов хрома по границам зерен и возникновению межкристаллитной коррозии.

Ниобий связывает углерод, как и титан, препятствует образованию карбидов хрома и обеднению аустенита углеродом в кислотостойких сталях, тем самым улучшает свариваемость.

Алюминий является сильным раскислителем, но может одновременно вызвать окисление углерода, что приводит к образованию пор в шве. В небольших количествах свариваемость не ухудшает.

Бор повышает жаростойкость, прокаливаемость, теплоустойчивость сталей. В небольших количествах на свариваемость влияет умеренно.

Кобальт повышает теплоустойчивость и в небольших количествах свариваемость не ухудшает.

Вольфрам повышает твердость и снижает свариваемость.

Приложение 2: Конструктивные мероприятия

Деформации поперечной и продольной усадок (рисунок 1, а) можно уменьшить увеличением размеров заготовок под сварку на величину предполагаемой деформации. Угловая деформация может быть снижена уменьшением сечения шва за счет замены V-образной разделкой на U-образную (рисунок 1 д, е), симметричным размещением наплавленного металла относительно центра тяжести сечения шва заменой V-образной разделки на X-образную (рисунок 1, ж) или применением ребер жесткости (рисунок 1, к)

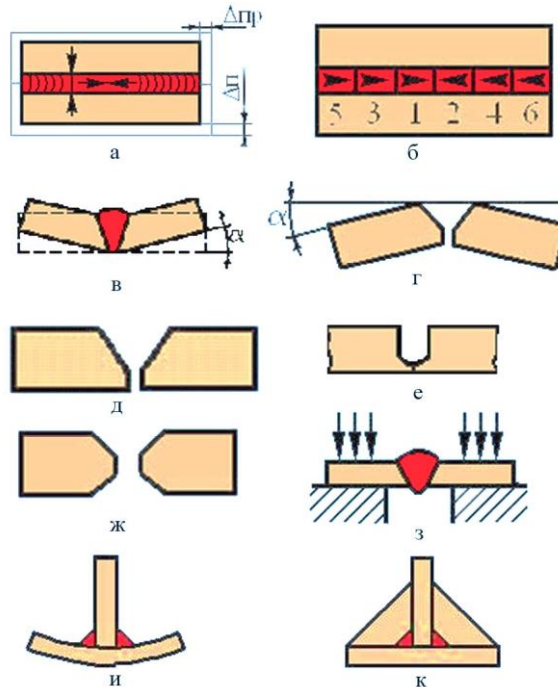


Рисунок 1. Усадка, угловая деформация сварных заготовок и способы их устранения:
 а - продольная и поперечная усадки; б: 1...6 - последовательность укладки швов; в, г, и - угловая деформация;
 $\Gamma_{пр}$, $\Gamma_{п}$ - продольная и поперечная деформации соответственно; α - угол предварительного изгиба.

Технологические мероприятия

Деформации поперечной и продольной усадок можно уменьшить за счет рациональной последовательности укладки швов (рисунок 1, б). Угловая деформация (рисунки 1, в и 2, а) может быть устранена или снижена предварительным угловым изгибом заготовок перед сваркой (рисунок 1, г), жестким закреплением заготовок при сварке (рисунок 1, з) и предварительным обратным прогибом балки (рисунок 2, б). При многопроходной сварке рекомендуется последовательно переходить с одной стороны сечения на другую сторону. При сварке пространственных конструкций необходима рациональная последовательность укладки швов относительно центра тяжести сварной балки. Для уменьшения напряжений после сварки стальных конструкций применяют высокий отпуск при $(550 \div 600)^\circ\text{C}$ в течение нескольких часов.

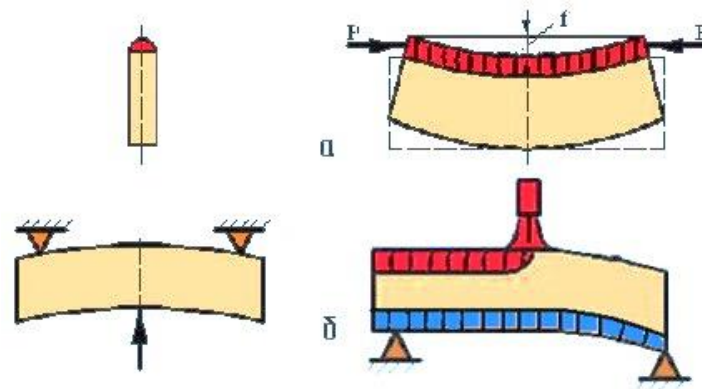


Рисунок 2. Деформация и устранение изгиба сварной заготовки:
а - без предварительного прогиба; б - с предварительным прогибом: P - усадочная сила; f - прогиб

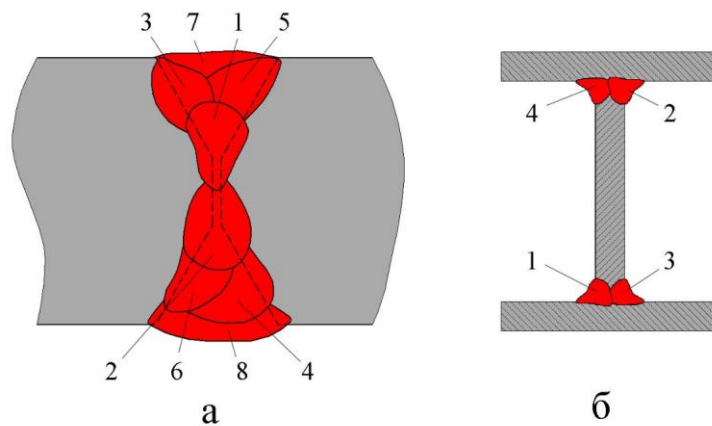


Рисунок 3. Рациональная последовательность наложения сварных швов:
а - при многопроходной сварке; б - при сварке пространственных конструкций

Полностью удалить сварочные деформации, как правило, не удастся, поэтому необходимо применять правку сварных конструкций. Деформации изгиба после сварки можно исключить термической обработкой (горячей правкой) путем нагрева зон, сокращение которых необходимо для исправления деформации до температур термопластического состояния (рисунок 3).

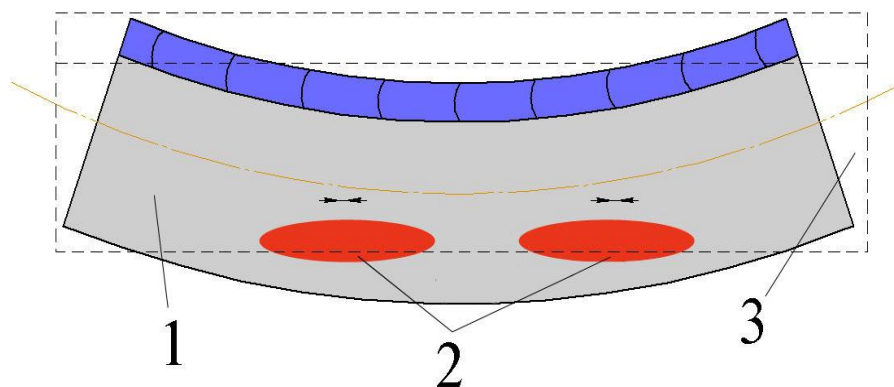


Рисунок 3. Термическая правка заготовки, претерпевшей деформацию изгиба в процессе наплавки: 1- после наплавки, 2- зоны нагрева, 3 - после термической правки

Зоны нагрева претерпевают пластическую деформацию, а после охлаждения - остаточное укорочение. Последнее обуславливает деформацию сварной заготовки, противоположную по знаку сварочной деформации.

Лекция 08: Общие вопросы сварки и наплавки

Для уменьшения сварочных напряжений также проводят прокатку или проковку сварных швов и околошовной зоны.

Приложение 3: Обозначения способов сварки, термины

Основной стандарт, устанавливающий классификацию методов сварки – ГОСТ 19521-74 «Сварка металлов. Классификация», не содержит аббревиатур обозначений сварочных процедур.

Наиболее используемые сокращения для справки приведены ниже:

РДС – ручная дуговая сварка (имеется в виду сварка покрытым штучным электродом)

АДС или РАДС – аргонодуговая сварка или ручная аргонодуговая сварка (сварка неплавящимся электродом в инертном газе, производимая вручную)

Наиболее полная и проработанная система сокращений приведена в двух стандартах на сварку в защитном газе: ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» и ГОСТ 23518-79 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные под острыми и тупыми углами. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». В этих стандартах дается следующая система аббревиатур:

ИН – сварка в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла

ИНп – сварка в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом

ИП – сварка в инертных газах и их смесях с углекислым газом и кислородом плавящимся электродом

УП – сварка в углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом

Также весьма проработана система обозначений в ГОСТ 8713-79 «Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры». Метод сварки под флюсом обозначается буквой «Ф» с прибавлением степени автоматизации - автоматическая («А») или механизированная («М»). Таким образом, автоматическая сварка под флюсом плавящимся электродом обозначалась как «АФ» или «АДФ» с прибавлением буквы, обозначающей разновидность метода:

АФ – автоматическая на весу

АФф – автоматическая на флюсовой подушке

АФм – автоматическая на флюсомедной подкладке

АФо – автоматическая на остающейся подкладке

АФп – автоматическая на медном ползуне

АФш – автоматическая с предварительным наложением подварочного шва

АФк – автоматическая с предварительной подваркой корня шва.

МФ – механизированная на весу

МФо – механизированная на остающейся подкладке

МФш – механизированная с предварительным наложением подварочного шва

МФк – механизированная с предварительной подваркой корня шва

Однако уже в других стандартах сокращения, указывающие на методы сварки, совершенно иные. Так, ГОСТ 16098-80 «Соединения сварные из двуслойной коррозионностойкой стали. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» обозначает ручную дуговую сварку просто буквой «Р», а сварку в защитных газах буквой «З». В ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» введены два метода сварки в защитных газах:

ЗП – дуговая сварка в защитном газе плавящимся электродом

ЗН – дуговая сварка в защитном газе неплавящимся электродом

При этом ручная дуговая сварка также обозначена буквой «Р», а автоматическая сварки под флюсом - буквой «Ф»

Электрошлаковая сварка обозначалась просто «ЭШ» или «Ш»; иногда расшифровывался метод:

ШЭ – проволочным электродом

ШМ – плавящимся мундштуком

ШП – электродом, сечение которого соответствует по форме поперечному сечению сварочного пространства

В настоящее время наиболее распространенными и общепризнанными являются следующие сокращения.

Лекция 08: Общие вопросы сварки и наплавки

MMA Manual Metal Arc или MMAW Manual Metal Arc Welding – ручная дуговая сварка штучными покрытыми электродами

Для того, что мы привыкли называть «аргонодуговой сваркой», существует несколько различных обозначений:

TIG Tungsten Inert Gas – дуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертного защитного газа; чаще всего используется для указания на ручную сварку

также:

GTA Gas Tungsten Arc указывает на образование дуги при помощи вольфрамового электрода

WIG Wolfram Inert Gas обозначение метода TIG, используемое в немецкоязычной литературе

GTAW Gas Tungsten Arc Welding обозначение, используемое для указания на применение метода TIG при автоматической (роботизированной) сварке

TIG-CW Cold Wire обозначение, используемое для указания на применение метода TIG с подачей нейтральной (холодной) присадочной проволоки

TIG-HW Hot Wire обозначение, используемое для указания на применение метода TIG с подачей электропроводящей (подогретой) присадочной проволоки

TIG-DC Direct Current обозначение, используемое для указания на применение метода TIG на постоянном токе

TIG-AC Alternating Current обозначение, используемое для указания на применение метода TIG на переменном токе

Для «полуавтоматической сварки» также есть несколько различных обозначений:

MIG Metal Inert Gas или MIGW Metal Inert Gas Welding дуговая сварка плавящимся металлическим электродом (проволокой) в среде инертного защитного газа с автоматической подачей присадочной проволоки

MAG Metal Active Gas или MAGW Metal Active Gas Welding дуговая сварка плавящимся металлическим электродом (проволокой) в среде активного защитного газа с автоматической подачей присадочной проволоки

также:

GMA Gas Metal Arc указывает на образование дуги из ионов металла присадочной проволоки

GMAW Gas Metal Arc Welding обозначение, используемое для указания на применение метода MIG/MAG при автоматической (роботизированной) сварке

FCAW Flux Core Arc Welding дуговая сварка плавящейся порошковой проволокой с автоматической подачей присадочной проволоки; проволока самозащитная или для сварки в среде защитного газа

Сварка под флюсом:

SAW Submerged Arc Welding или SMAW Submerged Metal Arc Welding буквально - сварка «погруженной дугой»; автоматическая дуговая сварка металлическим электродом (проволокой) под слоем флюса

UP Under Pulver обозначение метода SAW, используемое в немецкоязычной литературе

Плазменная сварка:

PAW Plasma Arc Welding плазменная сварка (сварка сжатой дугой) или PTAW Plasma Transferred-Arc Welding плазменная сварка дугой прямого действия

Также аббревиатуры плазменной сварки могут быть дополнены обозначениями, идентичными для сварки TIG:

PAW-CW Cold Wire плазменная сварка с подачей нейтральной (холодной) присадочной проволоки

PAW-HW Hot Wire плазменная сварка с подачей электропроводящей (подогретой) присадочной проволоки

PAW-DC Direct Current плазменная сварка на постоянном токе

PAW-AC Alternating Current плазменная сварка на переменном токе

Приложение 4: Классификация способов наплавки

Ручная дуговая электродами со стержнями и покрытиями специальных составов

Этот способ является наиболее распространенным способом благодаря простоте и возможности наплавки любой формы детали.

Основные достоинства метода:

- универсальность и гибкость при выполнении разнообразных наплавочных работ;
- простота и доступность оборудования;
- возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования.

Основные недостатки метода:

- низкая производительность;
- тяжелые условия труда;
- непостоянство качества наплавленного слоя;
- большое проплавление основного металла.

Автоматическая наплавка под флюсом

Электроды могут быть сплошного сечения и порошковые. Состав флюса, металл электрода и состав наполнителя определяют свойства наплавленного слоя.

Для наплавки применяются все основные способы механизированной дуговой сварки – под флюсом, проволоками и лентами в среде защитных газов. Наиболее широко используется наплавка под флюсом одной проволокой или лентой. Для увеличения производительности применяют многодуговую или многоэлектродную наплавку. Большое распространение получила дуговая наплавка самозащитными проволоками и лентами. Стабилизация дуги, легирование и защита расплавленного металла от азота и кислорода воздуха обеспечивается компонентами сердечника электродного материала.

Наплавка плавящимися и неплавящимися электродами в среде защитных газов. Свойства наплавленного слоя зависят от материала присадки или электрода

Дуговая наплавка в среде защитных газов применяется относительно редко. В качестве защитных газов используются углекислый газ, аргон, гелий или смеси этих газов.

Преимущества:

- универсальность;
- высокая производительность;
- возможность получения наплавленного металла любой системы легирования.

Основной недостаток: большое проплавление основного металла, особенно при наплавке проволоками.

Плазменная наплавка

Дуга может быть как прямого, так и косвенного действия. Можно плазменной струей оплачивать слой легированного порошка, предварительно нанесенный на поверхность детали.

Плазменная наплавка основана на использовании в качестве источника нагрева плазменную дугу. Как правило, плазменная наплавка выполняется постоянным током прямой или обратной полярности. Плазменная наплавка имеет относительно низкую производительность (4-10кг/час), но благодаря минимальному проплавлению основного металла позволяет получить требуемые свойства наплавленного металла уже в первом слое и за счет этого сократить объем наплавочных работ.

Основные достоинства метода:

- высокое качество наплавленного металла;
- малая глубина проплавления основного металла при высокой прочности сцепления;
- возможность наплавки тонких слоев.

Основные недостатки:

- относительно невысокая производительность;

- необходимость в сложном оборудовании.

Электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная наплавка, а также наплавка газокислородным пламенем

Электрошлаковую наплавку металла применяют, например, для наплавки больших поверхностей различными износостойкими сплавами, а также сплавами с особыми свойствами. В качестве присадочного металла, наряду с проволочными и пластинчатыми электродами, могут применяться электроды сложной формы.

Процесс наплавки начинается с зажигания и поддержания мощной электрической дуги под слоем флюса. После образования ванны из жидкого шлака достаточной глубины процесс дуговой сварки переходит в электрошлаковый. Горение дуги прекращается, оплавление кромок изделий и расплавление электрода происходят за счет тепла, выделяющегося электрическим током в соответствии с законами Джоуля - Ленца при прохождении через жидкий шлак к металлу, и тепла выделяемого в контактах (жидкий шлак-металл).

Основные достоинства метода:

- высокая производительность процесса в широком диапазоне плотностей тока ($0,2 \div 300$) А/мм², что позволяет использовать для наплавки как электродную проволоку диаметром менее 2 мм, так и электроды большого сечения (>35000 мм²);
- производительность, достигающая сотен килограммов наплавленного металла в час;
- возможность наплавки за один проход слоев большой толщины.

Основные недостатки:

- большая погонная энергия процесса, что обуславливает перегрев основного металла в зоне термического влияния;
- сложность и уникальность оборудования;
- невозможность получения слоев малой толщины.

Индукционная наплавка

Высокопроизводительный легко поддающийся механизации и автоматизации процесс. В промышленности применяются два основных варианта индукционной пайки: с использованием твердого присадочного материала (порошковой шихты, стружки, литых колец) расплавляемого индуктором непосредственно на наплавливаемой поверхности, и жидкого присадочного металла, который выплавляется отдельно и заливается на разогретую индуктором поверхность наплавливаемой детали.

Основные достоинства метода:

- малая глубина проплавления основного металла;
- возможность наплавки тонких слоев.

Основные недостатки:

- низкий к.п.д. процесса;
- перегрев основного металла.

Лазерная наплавка

Применяют три способа лазерной наплавки: оплавление предварительно нанесенных паст; оплавление напыленных слоев; наплавка с подачей присадочного порошка в зону оплавления. Производительность лазерной порошковой наплавки достигает 5 кг/ч.

Основные достоинства метода:

- малое и контролируемое проплавление при высокой прочности сцепления;
- возможность получения тонких наплавленных слоев;
- небольшие деформации наплавливаемых деталей;
- возможность наплавки труднодоступных поверхностей;
- возможность подвода лазерного излучения к нескольким рабочим местам, что сокращает время на переналадку оборудования.

Также если еще 2 группы способов наплавки, которые применяются гораздо реже:

Термомеханические:

- электроконтактная наплавка

При этом способе наплавки соединение основного и присадочного металла осуществляется в результате совместной пластической деформации, протекающей при прохождении импульсов тока и

действию усилия сжатия. В качестве присадочного материала используют ленту, проволоку, порошки их смеси.

- плакирование прокаткой и экструдированием

Разнообразные способы плакирования с помощью горячей сварки прокаткой и экструдированием применяются в основном для производства толстых и тонких листов, полос, лент, фасонных профилей, прутков и проволоки.

Механические:

- плакирование с использованием энергии взрыва

Источником энергии при сварке взрывом служат взрывчатые вещества. Сварка взрывом применяется как для производства заготовок под последующую прокатку, так и непосредственно для плакирования деталей. Наиболее широко применяется взрывное плакирование пластичными коррозионно-стойкими сталями и сплавами.

- наплавка трением

Суть метода заключается в быстром вращении присадочного прутка (1500-4000 об/мин), который торцом прижимается к наплавляемой поверхности. Металл нагревается, становится пластичным и как бы намазывается на поверхность изделия.

Приложение 5: Методики определения СФФ

Российские стандарты на методы определения, действующие в области атомной энергетики:

ГОСТ 2246 «Проволока стальная сварочная. Технические условия»

ГОСТ 9466 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия»

ГОСТ 11 878 «Сталь аустенитная. Методы определения содержания ферритной фазы в прутках»

РМД 2730.300.08-2003 «Руководящий методический документ. Определение содержания ферритной фазы магнитным методом в хромоникелевых сталях аустенитного класса»

РД ЭО 1.1.2.19.0199-2010 Определение содержания ферритной фазы в наплавленном металле сварочных и наплавочных материалов, основном металле, сварных швах аустенитных нержавеющей сталей и антикоррозионной наплавке оборудования и трубопроводов АЭС. Инструкция (взамен РД ЭО 0199-00)

ГОСТ Р 53686-2009 (ИСО 8249:2009) «Сварка. Определение содержания ферритной фазы в металле сварного шва аустенитных и двухфазных феррито-аустенитных хромоникелевых коррозионностойких сталей» (*Стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ISO 8249:2000 «Сварка. Определение ферритного числа в металле сварного шва аустенитных и двухфазных феррито-аустенитных хромоникелевых коррозионностойких сталей» (ISO 8249:2000 "Welding - Determination of Ferrite Number (FN) in austenitic and duplex ferritic-austenitic Cr-Ni stainless steel weld metal")*)

Зарубежные стандарты

ISO 8249:2000 «Welding - Determination of Ferrite Number (FN) in austenitic and duplex ferritic-austenitic Cr-Ni stainless steel weld metals / Сварка. Определение ферритного числа в металле шва, наплавленном из аустенитной и дуплексной феррито-аустенитной хромоникелевой нержавеющей стали»

ASTM E562-08 «Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point» / Стандартный метод испытаний для определения объемной доли посредством систематического ручного подсчета точек»

AWS A4.2M:2006 «Standard Procedures for Calibrating Magnetic Instruments to Measure the Delta Ferrite Content of Austenitic and Duplex Ferritic-Austenitic Stainless Steel Weld Metal»/Стандартные методики калибровки магнитометрических приборов для измерения содержания дельта-феррита в металле сварного шва аустенитной и дуплексной аустенитно-ферритной нержавеющей стали»

ASME Code Section III Rules for Construction of Nuclear Facility Components - Division 1 – Appendices / Правила строительства компонентов ядерного оборудования – Раздел 1 – Приложения

ASME Code Section VIII Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1 / Правила строительства сосудов давления. Раздел 1

Рабочими средствами измерения СФФ – ферритометры, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 26364.

Допускается определение СФФ в основном металле проводить на участке, подвергнутом местному расплавлению сварочной аргонодуговой горелкой с неплавящимся электродом.