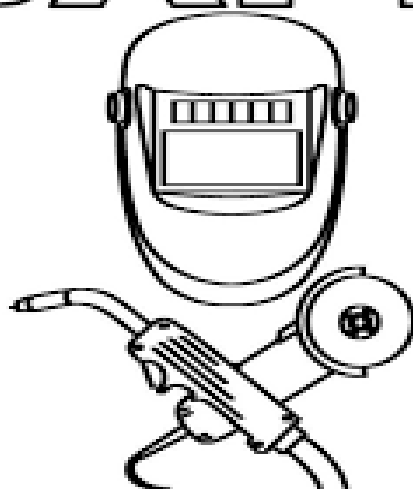


ВАРИ



ЗАЩИЩАЙ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по программе

«Основы сварочного производства»

(48 часов)

Содержание

1. Введение в курс.....	5
2. Основные понятия, термины и определения в сварочном производстве	7
3. Основные источники опасности для здоровья человека при проведении сварочных работ	13
Пожарная безопасность при проведении сварочных работ.....	19
4. Правила пользования конструкторской и технологической документацией	25
5. Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений, способы подготовки кромок соединения для сварки.....	39
6. Основы материаловедения.....	44
6.1 Структура и свойства твердых тел. Строение сплавов и диаграммы состояния.	44
6.2 Диаграмма состояния «Железо-углерод».....	51
6.3 Свариваемость сталей	63
6.4 Полимерные материалы	66
7. Полимерные материалы для трубопроводного транспорта	71
8. Технологические процессы производства сварных конструкций.....	75
8.1 Общие вопросы образования сварного соединения	75
8.2 Сварочные материалы	82
8.3 Дуговая сварка плавящимся покрытым электродом	99
8.4 Дуговая сварка в защитных газах	102
8.5 Дуговая сварка под флюсом.....	112
8.6 Процесс сварки нагретым инструментом.....	116
8.7 Процесс сварки с закладными нагревателями	123
9. Контроль качества сварных соединений.	132
9.1 Основные дефекты при сварке металлов, их классификация, причины возникновения, способы их предупреждения и устранения	132
9.2 Неразрушающие методы контроля и испытаний изготавливаемой сварной продукции.....	156
9.3 Требования к качеству сварных соединений из полимерных материалов. Виды и методы контроля. Основные дефекты при сварке полимерных материалов, причины возникновения.....	161

1. Введение в курс

Сварка является одним из выдающихся русских изобретений и впервые была освоена в нашей стране. Несомненно, Россия является лидером по количеству важных открытий в области науки и техники. Сейчас невозможно представить себе ни одной отрасли в хозяйстве или машиностроении, где бы не применялась сварка.

Целью данного курса является приобретение, систематизация и углубление знаний, а также формирование и отработка умений и навыков, необходимых специалисту сварочного производства для организации, подготовки и контроля сварочного производства.

Будут изучены основные понятия, термины, определения в сварочном производстве; рассмотрены источники опасности для здоровья человека при проведении сварочных работ; правила пользования конструкторской и технологической документацией, обозначения на чертежах сварных соединений; основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений; способы подготовки кромок и соединений под сварку; основные способы сварки; вопросы материаловедения; контроль и основные дефекты сварных соединений.

Таблица 1.1

Основные открытия русских ученых в области сварки

Открыватель	Открытие	Год
Петров Василий Владимирович	Явление электрической дуги, между двумя угольными электродами и металлом	1802
Бенардос Николай Николаевич	Способ дуговой сварки угольным электродом многодуговой сварки; в атмосфере защитного газа; контактной точечной сварки, с помощью клещей. конструкции сварочных автоматов, изобретения в области сварочного оборудования и процессов сварки.	1882
Славянов Николай Гаврилович	Дуговая сварка плавящимся металлическим электродом. Способ дуговой сваркой при исправлении брака литья, брак литья, восстановления деталей паровых машин и т. д. Он создал первый сварочный генератор и автоматический регулятор длины дуги, разработал флюсы, повышающие качество наплавленного металла.	С 1882
	На Всемирной выставке в Чикаго Н. Г. Славянов получил золотую медаль за способ электросварки под слоем толченого стекла.	1893
Миткевич В.Ф.	Русский учёный предложил использовать электрическую дугу, возбуждаемую трёхфазным током, для проведения сварки.	1905
Хренов Константин Константинович	Впервые в мире и Советском Союзе осуществлена дуговая сварка под водой.	1932
Институт электросварки имени Е.О. Патона	Автоматическая дуговая сварка под слоем флюса	1940
Институты и предприятия	Разработка и внедрение новых видов и способов сварки, наплавки и резки, например, сварка трением, ультразвуковая сварка, взрывом, вибродуговая наплавка, плазменная, лазерная сварка и резка, сварка в защитных газах и другие	С 1946
Группа советских ученых под руководством Любавского К.Ф. и Новожилова Н.М.	Разработан способ сварки в среде углекислого газа низкоуглеродистых и низколегированных сталей.	1950-52 г.

Патон Е.О., Патон Б.Е., Николаев Г.А. и др.	В СССР – разработка и внедрение новых методов и оборудования, например сварка в невесомости и применение сварки в космосе.	XX век
Космонавты Георгий Степанович Шонин и Валерий Николаевич Кубасов.	Первая в мире сварка в условиях глубокого вакуума в космосе на корабле «Союз-6»	16 октября 1969

2. Основные понятия, термины и определения в сварочном производстве

Сварка – это процесс получения неразъёмных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их нагревании или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого.

Межатомные связи могут устанавливаться только тогда, когда соединяемые атомы получают дополнительную энергию для преодоления существующего между ними определенного энергетического барьера. Эту энергию называют энергией активации. При сварке ее вводят извне путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация).

К **термическому классу** относят все виды сварки плавлением, осуществляемые с использованием тепловой энергии, – газовую, дуговую, электрошлаковую, электронно-лучевую, лазерную и др.

К **термомеханическому классу** относят все виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления, – контактную, диффузионную, газо- и дугопрессовую, кузнечную и др.

К **механическому классу** относят все виды сварки давлением, осуществляемые с использованием механической энергии – трением, ультразвуковая, взрывом и др.

В зависимости от вида энергии при выполнении соединения различают два вида сварки: плавлением и давлением.

Сварка плавлением – сварка, осуществляемая оплавлением сопрягаемых поверхностей без приложения внешней силы, обычно, но не обязательно, добавляется расплавленный присадочный металл. При сварке плавлением детали по соединяемым кромкам оплавляют под действием источника нагрева. Образуется общий объем жидкого металла при расплавлении двух кромок, называемый сварочной ванной. При охлаждении сварочной ванны жидкий металл затвердевает и образует сварочный шов.

Сварка давлением – сварка, осуществляемая приложением внешней силы и сопровождаемая пластическим деформированием сопрягаемых поверхностей, обычно без присадочного металла. Сущность сварки давлением состоит в непрерывном или прерывистом совместном пластическом деформировании материала по кромкам свариваемых деталей.

Таблица 2.1

Классификация методов сварки металлов по физическим признакам

Сварка плавлением	Сварка давлением	
Термические процессы	Термомеханические процессы	Механические процессы

Газовая Дуговая Лазерная Плазменная Термитная Электронно-лучевая Электрошлаковая	Высокочастотная Газопрессовая Диффузионная Контактная Кузнечная Печная	Взрывом Магнитно-импульсная Трением Ультразвуковая Холодная
--	---	---

Также виды сварки можно классифицировать по техническим признакам.

Технические признаки – это способы защиты металла в зоне сварки, непрерывность сварки, степень механизации сварки.

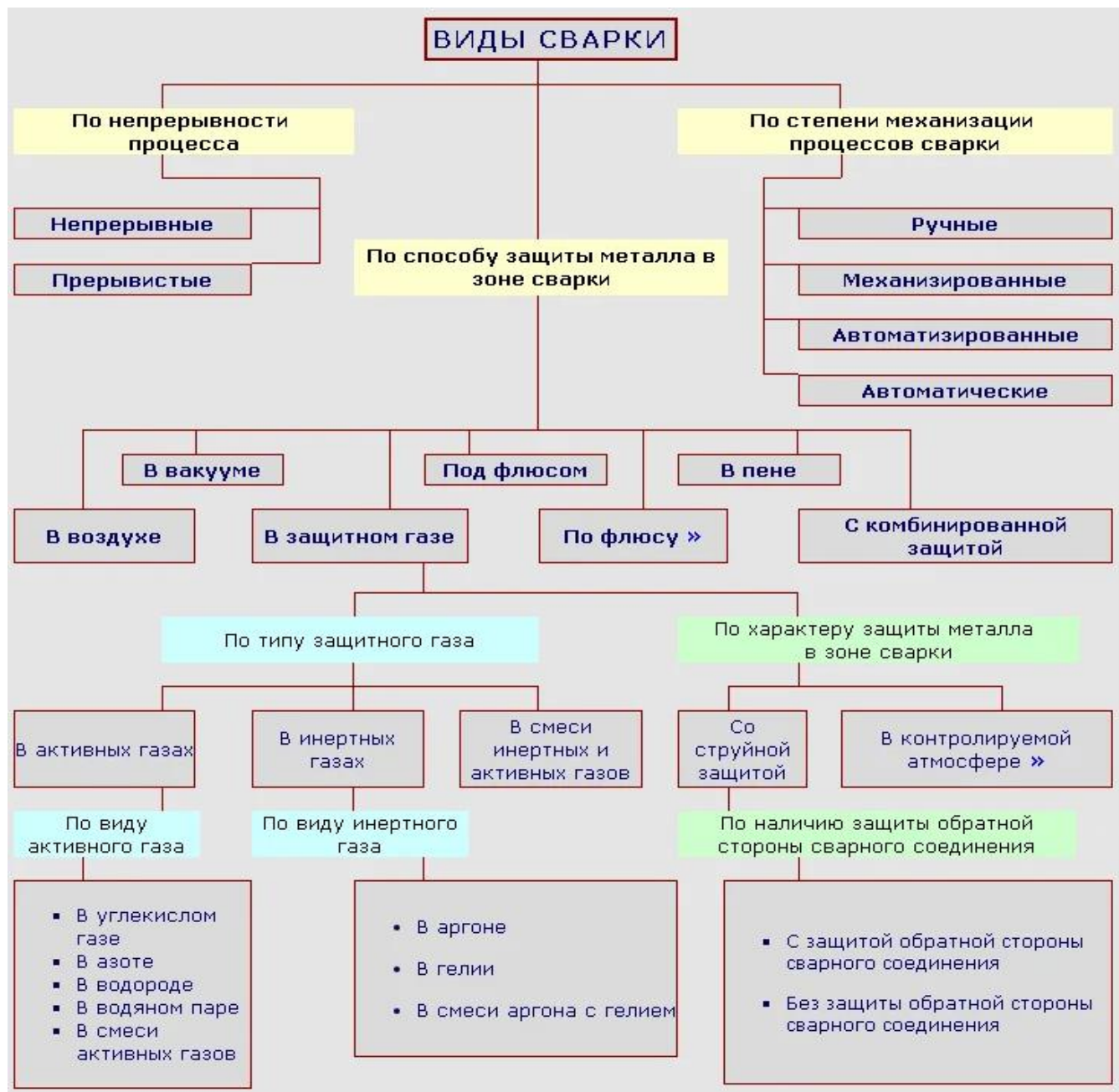


Рисунок 2.1 – Классификация видов сварки по техническим признакам.

Провести классификацию видов сварки можно по виду энергоносителя.

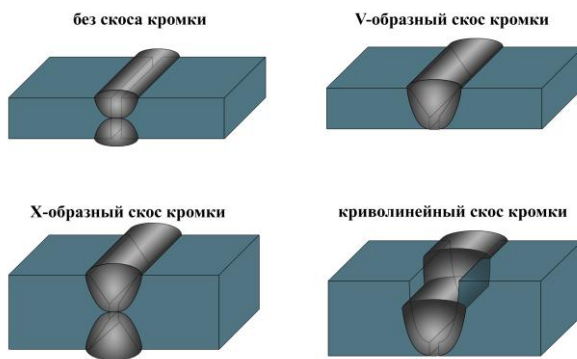
Энергоноситель – физическое явление, при котором образуется необходимая для сварки энергия путем передачи или путем превращения внутри детали(ей).

Для классификации процессов сварки используют следующие энергоносители:

- твердое тело;
- газ;
- электрический разряд;
- электрический ток;
- жидкость;
- излучение;
- движение массы;
- прочие.

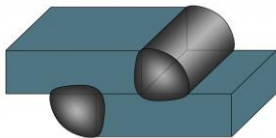
Сварное соединение – это неразъемное соединение, выполненное сваркой. Сварные соединения бывают стыковыми, угловыми, тавровыми, нахлесточными и торцевыми.

Стыковое соединение – сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями.



Угловое соединение – сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев.

Нахлесточное соединение – сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга.



Тавровое соединение – сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента.



Торцовое соединение – сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу.

Сварной шов – участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации. В зависимости от того, какое выбрано соединение сварные швы бывают стыковыми и угловыми.

Стыковой шов – сварной шов стыкового соединения.

Угловой шов – сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединений.



В результате того, какая выбрана технология сварки, можно выделить следующие классификации:

1) По количеству проходов (проход – однократное перемещение в одном направлении источника тепла при сварке и (или) наплавке):

- **однопроходная сварка** – сварка, при которой выполняют шов или наплавляют слой за один проход;
- **двухпроходная сварка** – сварка, при которой выполняют шов или наплавляют слой за два прохода;
- **многопроходная сварка** – сварка, при которой выполняют шов или наплавляют слой более чем за два прохода.

2) По способу заполнения сварного шва:

- **односторонняя сварка** – сварка, при которой шов выполняют с одной стороны заготовки;
- **двусторонняя сварка** – сварка, при которой шов выполняют с обеих сторон заготовки.

3) По виду направления сварки (направление сварки – направление движения источника тепла вдоль продольной оси сварного соединения):

- **сварка напроход** – сварка, при которой направление сварки неизменно;
- **обратноступенчатая сварка** – сварка, при которой короткие участки шва выполняют в направлении, обратном общему приращению длины шва, и так, чтобы конец одного участка перекрывал начало предыдущего участка;
- **сварка блоками** – обратноступенчатая сварка, при которой многослойный шов выполняют отдельными участками с полным заполнением каждого из них;
- **сварка каскадом** – сварка, при которой каждый последующий участок многослойного шва перекрывает весь предыдущий участок или его часть;
- **сварка вразброс** – сварка, при которой сварной шов выполняется участками, расположенными в разных местах по его длине.

4) По виду выполнения сварки:

- **сварка сверху вниз** – сварка плавлением в вертикальном положении, при которой сварочная ванна перемещается сверху вниз;
- **сварка снизу вверх** – сварка плавлением в вертикальном положении, при которой сварочная ванна перемещается снизу вверх;
- **сварка углом вперед** – дуговая сварка, при которой электрод наклонен под острым углом к направлению сварки;
- **сварка углом назад** – дуговая сварка, при которой электрод наклонен под тупым углом к направлению сварки;
- **сварка по весу** – односторонняя сварка со сквозным проплавлением кромок без использования подкладок;

- **сварка неповоротных стыков** – сварка по замкнутому контуру во всех пространственных положениях, при которой объект сварки неподвижен.

3. Основные источники опасности для здоровья человека при проведении сварочных работ

Проведение сварочных работ связано с повышенной опасностью для сварщика. Для предупреждения опасностей выработаны нормы для проведения работ. Вновь поступающий на работу независимо от квалификации обязан пройти вводный инструктаж по технике безопасности, а также инструктаж на рабочем месте, предварительный медицинский осмотр, а в последующем в установленном порядке проходить периодические медицинские осмотры. Инструктаж по безопасности труда проводят не реже одного раза в три месяца.

При переводе на работу с использованием нового оборудования сварщик должен ознакомиться с его конструкцией и пройти дополнительный инструктаж по технике безопасности. Перед работами сварщики проходят инструктаж, в которых дополнительно разъясняются техника безопасности и правила безопасности работ со сварочным оборудованием. Проверяется наличие и исправность индивидуальных средств защиты, знание техники безопасности и технологии сварки.

К электросварочным работам допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, которые прошли специальное обучение, имеют удостоверение на право сварки и вторую квалификационную группу по электробезопасности.

Ежегодно комиссия во главе с главным инженером и энергетиком с квалификационной группой по электробезопасности не ниже пятой проводит проверку знаний электросварщиков. По результатам проверки сварщикам продляются на год удостоверения второй квалификационной группы по электробезопасности.

В соответствии с ГОСТ 12.3.003-86 (Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные), оборудование, используемое для сварки, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.2.049-80; требования безопасности к электротехническим устройствам в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.3-75, правилами устройства электроустановок (ПУЭ), правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ); Правилами по охране труда при выполнении электросварочных и газосварочных работ (утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1101н).

Опасный производственный фактор – это фактор, воздействие которого на сварщика может привести к травме.

Вредный производственный фактор – это фактор, воздействие которого на сварщика может привести к заболеванию.

Особо характерным вредным фактором является присутствие в воздухе рабочей зоны сварочных аэрозолей, содержащих токсические вещества. Длительное их воздействие на организм сварщика может привести к возникновению профессиональных заболеваний

(пневмокониоз, пылевой бронхит и др.).

Наиболее вредные аэрозоли образуются при сварке высоколегированными электродами, содержащими соединения никеля и хрома. Это необходимо учитывать при выборе средств нейтрализации вредных веществ в системах промышленной вентиляции и индивидуальной защиты органов дыхания сварщиков.

Электрическая дуга является мощным источником яркого света, ультрафиолетовых, и инфракрасных лучей, воздействие которых на незащищённые глаза в течение 10-20 с в радиусе до 1 м вызывает сильные боли, слезоточивость и светобоязнь.

Воздействие электрической дуги на кожные покровы в течение 60-180 с вызывает ожог (аналогично продолжительному воздействию солнца), а длительное воздействие на органы зрения приводит к электроофтальмии и катаракте.

Интенсивность инфракрасного (теплого) излучения от свариваемых изделий и сварочной ванны определяется температурой изделий, их габаритами и конструкцией, а также температурой и размерами сварочной ванны. При отсутствии средств индивидуальной защиты воздействие теплового излучения, превышающего допустимый уровень, приводит к нарушению терморегуляции, тепловому удару. Контакт с нагретым металлом может вызвать ожоги.

Источниками шума при дуговой сварке являются сварочная дуга, источники питания, пневмоприводы и др. Уровень шума от сварочной дуги определяется стабильностью её горения. Поэтому при сварке покрытыми электродами и другими сварочными материалами, в составе которых присутствуют элементы – стабилизаторы дуги, уровень шума не превышает допустимого.

Разбрызгивание металла при сварке – также следствие нестабильного горения дуги. При использовании покрытых электродов оно незначительно. Брызги, искры и выбросы расплавленного металла и шлака при отсутствии средств защиты могут быть причиной ожогов кожных покровов, травмирования органов зрения, а также возникновения пожаров.

Опасным для жизни человека считается электрическое напряжение более 42 В переменного и 110 В постоянного тока при работе в сварочных цехах и 12 В – в сырых помещениях, замкнутых металлических объёмах и т.п. Однако эти напряжения являются условными, поскольку опасность поражения электрическим током существенно зависит от индивидуальных особенностей организма и окружающих условий. Наличие даже малых количеств алкоголя в крови резко снижает электрическое сопротивление тела человека. Мокрая или потная кожа обладает гораздо большей электропроводностью, чем сухая.

Статические и динамические физические нагрузки при ручной сварке вызывают перенапряжение нервной и костно-мышечной систем организма. Статические нагрузки зависят от массы сварочного инструмента (электрододержателя, шлангового держателя полуавтомата), гибкости шлангов и проводов, длительности непрерывной работы и рабочей позы (стоя, сидя, полусидя, стоя на коленях, лёжа на спине). Наибольшие физические нагрузки ощущаются при выполнении сварочных работ полусидя и стоя при сварке в потолочном положении или лёжа на

спине в труднодоступных местах.

Динамическое перенапряжение связано с выполнением тяжёлых вспомогательных работ: доставка на рабочее место заготовок, сварочных материалов, подъём и переноска приспособлений, поворот свариваемых узлов. Такие нагрузки вызывают утомляемость сварщиков и как следствие ухудшение качества выполнения сварных швов.

Кроме указанных опасных и вредных факторов при ручной дуговой сварке происходит ионизация воздуха рабочей зоны с образованием ионов обеих полярностей. Причиной этого являются электрическая и термическая ионизация в результате электродугового процесса, а также воздействие ультрафиолетового излучения дуги на воздух. Повышенная или пониженная концентрация отрицательно или положительно заряженных ионов в воздухе рабочей зоны также может оказывать неблагоприятное действие на здоровье работающих.

Рабочие, занятые на огневых работах, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты в соответствии с "Типовыми отраслевыми нормами выдачи спецодежды, спецобуви и предохранительных приспособлений". Средства защиты работающих в зависимости от характера воздействия опасных и вредных производственных факторов должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.011-89.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРОЧНЫХ РАБОТАХ

ВЗРЫВО- И ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ

4

МЕСТО РАБОТ ОЧИСТИТЬ ОТ ГОРЮЧИХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Увлажните деревянные полы

Прекратите в мачках и смежных помещениях окрасочные работы, удалите оттуда легко воспламеняющиеся и горючие вещества

СПЕЦОДЕЖДА СВАРЩИКА ДОЛЖНА БЫТЬ ЧИСТОЙ, БЕЗ МАЛЕЙШИХ СЛЕДОВ МАСЛА ИЛИ ЖИРОВ

Стенные проемы и отверстия в полу закройте асбоцементными или стальными щитами

ПОПАДАНИЕ МАСЛА НА ШТУЦЕР БАЛЛОНА С КИСЛОРОДОМ МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ВОЗГОРАНИЕ ИЛИ ВЗРЫВ

Ацетиленовый генератор

ОГАРКИ ЭЛЕКТРОДОВ СКЛАДЫВАЙТЕ ТОЛЬКО В СПЕЦИАЛЬНЫЙ ЯЩИК

РАБОТЫ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ И ЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

ВНИМАНИЕ!

- Сместе работ необходимо от взрывоопасной атмосферы, кислорода и промывки, исключить возможность, обогреть вентиляцию;
- Сместе работ необходимо установить ДПС кислорода, кислорода, углекислого;
- Сместе работ необходимо установить анализатор воздуха;
- Сместе работ необходимо установить анализатор кислорода;
- Сместе работ необходимо установить анализатор углекислого газа;
- Сместе работ необходимо установить анализатор углекислого газа;
- Сместе работ необходимо установить анализатор углекислого газа;
- Сместе работ необходимо установить анализатор углекислого газа;

Пределы взрываемости при содержании горючего газа в смеси с воздухом, объемн. %	
Ацетилен	2,2 - 81,0
Водород	3,3 - 81,5
Метан	4,8 - 16,7
Пропан	2,2 - 9,5
Бутан	1,5 - 9,4
Этан	3,1 - 15,0
Бензин	0,7 - 6,0
Керосин	1,4 - 7,5

При электросварке внутри резервуаров, трубопроводов, котлов, емкостей и колодцев, а также на открытом воздухе (после дождя и снегопада), в сырых местах нужно пользоваться

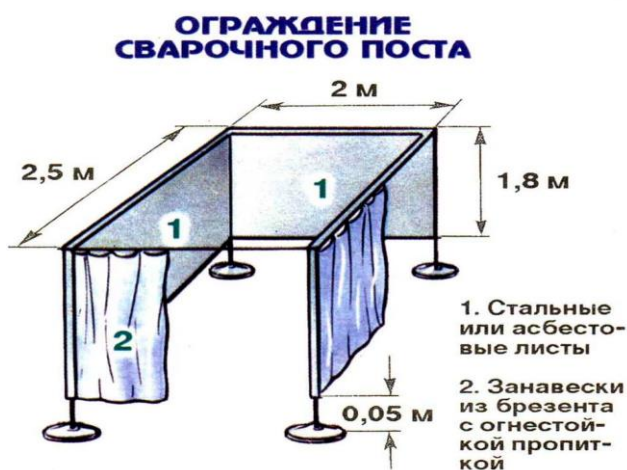
диэлектрическими резиновыми бесшовными перчатками и резиновыми диэлектрическими ковриками (размер коврика должен обеспечивать полную изоляцию работающего на коленях, сидя или лежа от свариваемого изделия), а также сапогами. Газосварщикам и газорезчикам выдают войлочные подстилки или маты, наколенники и подлокотники, изготовленные из брезента и ваты. Рабочий, находящийся внутри замкнутого пространства, должен быть снабжен предохранительным монтерским поясом со специальной веревкой, второй конец которой должен находиться у наблюдающего и страхующего. Эти же пояс и страховочный канат используют при работе на высоте.

Перед началом сварочных работ электросварщик обязан проверить защитные приспособления.

Изолирующие защитные средства проверяют при приемке в эксплуатацию, а затем периодически в следующие сроки: диэлектрические перчатки раз в 6 месяцев, диэлектрические боты раз в 3 года, диэлектрические сапоги, галоши и инструмент с изолирующими рукоятками раз в год, диэлектрические коврики раз в 2 года.

Все защитные средства, кроме инструмента с изолирующими рукоятками, должны иметь штамп с указанием срока следующих испытаний и наибольшего номинального напряжения аппаратов, для которых предназначено защитное средство.

Для защиты работающих вблизи, а также подсобных рабочих от лучистой энергии сварочных дуг в постоянных местах сварки для каждого электросварщика устраивают кабину. Свободная площадь на один сварочный пост в кабине должна быть не менее 3 м². Высота стен кабины 1,8-2 м. Для лучшей вентиляции стены устанавливают на высоте 50 мм от пола, при сварке в среде защитных газов – на высоте 300 мм.



Защита органов зрения.

Для защиты глаз и лица электросварщики и плазморезчики используют щитки и маски, соответствующие требованиям ГОСТ 12.4.254-2013, а газосварщики, газорезчики и вспомогательные рабочие – защитные очки, соответствующие требованиям ГОСТ 12.4.253-2013. При газопламенной обработке металлов рекомендуется применять защитные закрытые очки с непрямой вентиляцией и регулирующей перемычкой; для вспомогательных рабочих – открытые

двойные очки.

Для защиты сварщика от излучения и брызг металла, а также от воздействия выделяемых при сварке паров металла, шлака и аэрозолей предназначены щитки. Они бывают двух видов: наголовные и ручные. Наголовный щиток более удобен, так как освобождает сварщика от необходимости удерживать его. Щитки закрывают все открытые части головы и шеи сварщика. При необходимости не обязательно откидывать щиток назад, достаточно поднять крышку рамки со светофильтром и осмотреть конструкцию через прозрачное защитное стекло, подготовить стык к сварке, зачистить кромки, удалить шлак и выполнить другие операции.

Для защиты от вредного излучения дуги в щитки вставляют стеклянные светофильтры тёмно-зелёного цвета, которые позволяют видеть дугу, расплавляемый металл и манипулировать электродом. Наиболее удобны щитки с автоматическим затемнением светофильтра, освобождающие руки сварщика и исключающие сварку «вслепую».

Необходимо иметь в виду, что излучение сварочной дуги может травмировать глаза людей, находящихся недалеко от сварщика. Поэтому рабочих, присутствующих в зоне сварки, следует снабдить очками и светофильтрами. Излучение дуги опасно для зрения на расстоянии до 20 м.

Зачистку поверхности металла выполняют в защитных предохранительных очках с прозрачными небьющимися стёклами или в защитных щитках.



Защита тела.

Для защиты тела от искр и брызг расплавленного металла и шлака, повышенных температур материалов и оборудования предназначена спецодежда всесезонная и летняя из брезента с термостойкой, искростойкой и огнестойкой пропиткой. Руки защищают рукавицами.

Спецодежда (куртки и брюки) изготавливается из материала, защищающего сварщика от излучения дуги. При работе на стационарных постах сварщик использует фартук, защищающий от брызг металла, особенно опасных при дуговой резке. Обувь должна быть с нескользящей подметкой.

При сварочных работах на открытом воздухе в холодное время года спецодежда дополняется теплозащитными подстёжками в соответствии с климатическими зонами. Для защиты от атмосферных осадков, сильного ветра и солнечных лучей на открытых местах следует

пользоваться переносными брезентовыми палатками с каркасом из легких сплавов.

Защита органов слуха.

Для защиты органов слуха нужно использовать противошумные наушники, а также противошумные вкладыши типа "Беруши".

Вентиляция

Вентиляция может быть общей и местной. Общую делают приточно-вытяжной. Она служит для удаления загрязнённого воздуха из всего помещения и подачи свежего. Общая вытяжная вентиляция на постоянных рабочих местах недостаточно эффективна: поток загрязнённого воздуха, поднимаясь вверх от дуги или пламени, вредно влияет на электросварщика. Поэтому загрязнённый поток с рабочего места удаляют местными вытяжными устройствами.

Эффективны местные вентиляционные устройства, отклоняющие сварочный факел от лица рабочего и удаляющие загрязнённый воздух, – вытяжные панели. Выбор типа панели зависит от объёма удаляемого воздуха, длины сварочного стола и размеров свариваемых изделий. Вытяжные панели особенно эффективны при сварке относительно небольших деталей. При сварочных работах на больших листах и конструкциях у дуги или панели целесообразно ставить местные отсосы передвижного типа, соединённые с вытяжной вентиляцией телескопическими трубами и поворотными фланцами.

На временных рабочих местах, где нет возможности применить общеобменную вентиляцию и местные вытяжные пылегазоприемники, а также при выполнении работ, связанных с избыточным выделением вредных газов и пыли (озона, окисей углерода, цинка, азота и др.) в замкнутых помещениях объемом менее 100 м³, необходимо применять средства индивидуальной защита органов дыхания (СИЗОД). К ним относятся дыхательные приборы с принудительной подачей воздуха. В качестве таких приборов могут быть использованы промышленные изолирующие противогазы, индивидуальные установки для подачи воздуха под маску сварщика, респиратор и т.п.



Пожарная безопасность при проведении сварочных работ

Процесс сварки связан с высокими температурами, открытым огнем, воспламеняющимися газами. Чтобы избежать травматизма и потери имущества от пожаров, необходимо придерживаться правил пожарной безопасности при сварочных работах.

Пожарная безопасность при проведении сварочных работ регламентирована законодательством. Разработаны СНиПы и правила, следовать которым должны не только профессионалы, но и начинающие сварщики. Меры пожарной безопасности при проведении сварочных работ помогут сохранить здоровье, уберегут от финансовых потерь.

Требуемый уровень пожарной безопасности при проведении сварочных работ может обеспечиваться за счет реализации определенных мероприятий, общая цель которых направлена на то, чтобы:

- предупредить возникновение возгорания;
- исключить распространение огня на большую площадь;
- создать условия для быстрой ликвидации пожара, если он все-таки возник;
- обеспечить защиту сварщиков от ожогов и травм при выполнении сварочных процедур.

Ответственность за обеспечение мер пожарной безопасности при проведении сварочных и других огневых работ возлагается на руководителей предприятий, цехов, лабораторий, мастерских, складов, участков, установок, учреждений и хозяйств, в помещениях или на территориях которых будут проводиться огневые работы.

Согласно своду правил, описывающих пожарную безопасность при выполнении сварки, на объекте, где они выполняются, должны быть созданы такие условия, которые минимизируют риск возгорания и позволяют максимально быстро ликвидировать огонь, если произошло возгорание.

Комплекс требуемых мероприятий включает в себя следующие:

- 1) **Организационные** - предусматривают проведение обучения сварщиков правилам пожарной безопасности на объекте, разработку правил действия рабочего персонала в случае возникновения возгорания, проведение инструктажей о подготовке рабочего места, чтобы избежать возгораний во время сварочных процедур и. пр. Благодаря эффективному проведению такого рода мероприятий пожарная безопасность сварщика и объекта может обеспечиваться на очень высоком уровне.
- 2) **Технические** - предусматривают соблюдение всех правил и норм по использованию сварочной техники, подготовке систем питания сварочных аппаратов, вентиляционных систем, защитного заземления и пр.
- 3) **Эксплуатационные** - предусматривают правильное использование оборудования, корректный выбор рабочих режимов, периодические технические работы и обслуживание используемой техники.
- 4) **Режимные** - предусматривают установку соответствующих правил на объектах, которые должны беспрекословно выполняться всем персоналом.

Высота точки сварки над уровнем пола

Высота расположения точки сварки, см	0...200	200	300	400	600	800	1000	>1000
Радиус зоны, подлежащей очистке, см	500	800	900	1000	1100	1200	1300	1400

Правила пожарной безопасности при проведении сварочных работ предусматривают обязательную подготовку места, где будет производиться сварка. Нужно очистить определенный участок рабочей поверхности от воспламеняющихся веществ и материалов, которые могут загореться, когда на них попадает раскаленный металл. Ниже, в таблице приведен радиус площади рабочего места, которое очищается, в зависимости от того, на какой высоте располагается точка сварки.



Подготовка оборудования перед сваркой

Оборудование, с помощью которого и на котором будут производиться сварочные работы, должно быть определенным образом подготовлено.

Установки, которые будут использованы для электросварочных работ, должны быть оснащены контактором или рубильником, прибором для измерения рабочего тока, а также предохранителем в первичной цепи. Все электрические подключения должны осуществляться помощью болтовых соединений, используя медные кабельные наконечники.

Оборудование, которое предназначено для сварки с помощью газовых генераторов, может применяться на открытых площадках или в хорошо проветриваемых помещениях. Баллоны с используемым газом должны быть герметизированы, а давление внутри не должно превышать норму. Для максимальной безопасности их следует ограждать от места сварки и располагать не ближе 10 м к нему.



Взрывобезопасность сварщика

Пожарная безопасность сварщика предусматривает также его эффективную взрывозащиту.

Взрывы при сварке возможны в следующих случаях:

- если неправильно эксплуатируются, сохраняются или перевозятся баллоны с сжатым газом;
- при обратном ударе пламени в ацетиленовом генераторе, если не сработал защитный водяной затвор;
- если на штуцере кислородного баллона или редукторе появится масло;
- в случае попадания на баллоны с газом прямых солнечных лучей или воздействия высоких температур;
- если давление в баллоне будет выше допустимой нормы.

Если для сварки используется газовый агрегат, то одним из условий, гарантирующих безопасность при сварочных работах, является правильная эксплуатация газовых баллонов.

Правила их использования предусматривают:

- персонал, использующий и обслуживающий баллоны, должен быть проинструктирован и обучен поведению с такого рода взрывоопасными устройствами;
- баллоны следует хранить в специальных помещениях или на открытом пространстве, исключив их нагревание и облучение солнечными лучами;
- при расположении баллона в рабочем месте или для хранения он должен находиться более чем в 5-ти метрах от открытого пламени или более 1-го метра от отопительных радиаторов;
- не допускается использовать баллоны с давлением выше нормы, а также при давлении ниже предельно допускаемого остаточного давления;
- выпуск газа из баллона допускается совершать только через специальный редуктор, предусмотренный для данного вида газа.

Правила пожарной безопасности при проведении сварочных работ ограничивают не только максимальное давление в баллоне с горючим газом, но и значение остаточного давления.

Запрещается отбирать газ-ацетилен из баллона полностью. Его можно расходовать до остаточного давления, величина которого, в зависимости от температуры внешней воздушной среды, составляет следующие значения.

Значение температуры, °С	<0	0...+15	+15...+25	+25...+35
Величина остаточного давления, кгс/кв.см	0,5	1,0	2,0	3,0

При производстве любых видов газопламенных работ запрещено:

- Допускать к самостоятельным работам учеников газосварщиков, работников предприятий без квалификационных удостоверений.
- Приступать к ним без регламентной проверки исправности, а также при выявлении неисправностей, нарушений правил эксплуатации – повреждениях корпусов, вентилях, переходников; с истекшими сроками освидетельствования, при выявлении негерметичности в любом месте соединения.
- Проводить работы на недавно окрашенных сгораемыми грунтовками, красками, лаками строительных конструкциях, деталях производственного оборудования, изделиях.
- Использовать спецодежду, защитные рукавицы, загрязненные растительными жирами, маслами, нефтепродуктами, другими горючими жидкостями.
- Допускать контакт баллонов с горючими газами, кислородом с электрическими кабелями, проводами.
- Выполнять работы на корпусах технологического оборудования, емкостях хранения, трубопроводных обвязках, коммуникациях, что заполнены горючими, токсичными материалами, или находятся под напряжением электротока; а также на элементах строительных объектов, что

выполнены из легких металлоконструкций со сгораемыми, трудно сгораемыми утеплителями.

Средства тушения пожара: виды и классификация

Средства тушения пожара – это вещества и пожарная техника, способные прекратить процесс горения различных веществ и материалов.

В качестве огнетушащих средств используются:

- вода и водные растворы некоторых солей, а также вода со смачивателями и другими добавками;
- водопенные растворы;
- инертные разбавители;
- хладоны;
- комбинированные составы;
- порошки;
- аэрозольные составы.

Выбор огнетушащего средства определяется условиями возникновения и развития пожара и типом горючего вещества. При выборе средств тушения пожара необходимо учитывать эффективность тушения того или иного горючего материала (вещества), возможную порчу материальных ценностей.

Основные технические средства тушения – это стационарные системы пожаротушения, смонтированные внутри зданий, технологических, общественных сооружений; первичные средства, включающие в себя все виды ручных или мобильных огнетушителей, пожарного инвентаря; ПК с комплектами рукавных линий, установленные на сетях внутреннего противопожарного водопровода.

В случаях, когда с пожаром не смогли справиться самостоятельно с помощью всех этих средств для борьбы с огнем, то на помощь, как и всегда, приходят боевые расчеты пожарных подразделений, имеющие на вооружении мобильные средства для тушения пожаров и эвакуации людей; экипировку, средства защиты и огромный опыт.

Первичные средства

Согласно ст. 43 ФЗ-123, классифицирующей все типы первичных средств, к ним относят:

- Все виды изделий переносных/передвижных устройств пожаротушения – водных, воздушно-пенных, порошковых, воздушно-эмульсионных, углекислотных, хладоновых, ранцевых (лесных) огнетушителей.
- Пожарные краны, установленные на стояках внутреннего противопожарного водопровода с комплектами из рукавов с соединительными головками, ручных стволов, уложенными в пожарные шкафы.
- Все виды пожарного инвентаря – ведра, емкости для воды, вилы, ломы, багры, совковые/штыковые лопаты, крюки с деревянными ручками, ящики пожарные для песка; комплекты для резки электрических кабелей, состоящие из ножниц, диэлектрических бот, коврика.
- Противопожарные полотна/кошмы, покрывала; защитные экраны со стойками для их установки/подвески.

- Переносные генераторы аэрозоля.

Все первичные средства могут быть использованы как работниками, сотрудниками предприятий, учреждений/организаций, прошедшими инструктажи по ПБ, обучение ПТМ; так и сотрудниками пожарных подразделений в ходе разведки, ликвидации пожара, членами добровольных пожарных формирований.

ПЕРВИЧНЫЕ СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ

<p style="text-align: center;">ВНУТРЕННИЙ ПОЖАРНЫЙ КРАН</p> 	<p style="text-align: center;">ПОЖАРНЫЙ ШИТ</p> 	<p style="text-align: center;">ЩИТЫ ПОЖАРНЫЕ С ПЕСКОМ</p> 		
<p>Предназначен для тушения пожаров водой от внутреннего водопровода жилых, административ. и производственных помещений (кроме электроустановок под напряжением). -высота шкафа от пола-1,35м,ствол,кран должны соединены; -внешний осмотр кранов - 2 раза в год; -проверка спуска воды-один раз в г.,подтекан. недопустимо; -лнйная рукав перематывают складку-один раз в 6 месяцев</p>	<p>Предназначен для размещения первичных средств пожаротушения, инструмента и пожарного инвентаря в производственных, складских помещениях, необорудованных противопожарным водопроводом и автоматическими установками пожаротушения, а также на территории предприятий, не имеющих наружного противопожарного водопровода, комплектуется согласно ППБ 01-93 **.</p>	<p>Предназначены для размещения и хранения огнетушителей пожарного инструмента и инвентаря, применяемых для ликвидации пожаров в организациях, на объектах экономики, в складских помещениях и заправочных пунктах - устанавливаются как правило на улице. Использовать пожарное оборудование для нужд не связанных с пожаротушением ЗАПРЕЩАЕТСЯ!</p>		
О Г Н Е Т У Ш И Т Е Л И				
<p style="text-align: center;">УГЛЕКИСЛОТНЫЕ</p> 	<p style="text-align: center;">ПОРОШКОВЫЕ И ВОДНЫЕ</p> 	<p style="text-align: center;">ВОЗДУШНО-ПЕННЫЕ</p> 	<p style="text-align: center;">ПОЖАРНЫЕ МОТОПОМПЫ</p> 	
<p>Применяется при загораниях на электроустановках под напряжением до 1000 В, двигателей внутреннего сгорания, ГЭ, при пожарах в музеях и архивах.</p>	<p>1.Применяется, в зависимости от состава порошка, для тушения пожаров класса А,В,С. Е-установок под напряжением до 1000 В и класса Д. 2.Применяется для тушения пожаров класса А, на небольших площадях (не применять для тушения горючих жидкостей, газов и электроустановок!).</p>	<p>Применяется при загораниях различных веществ и материалов при температуре окружающей среды от +5 до +50 град., за исключением щелочных, щелочноземельных элементов и электроустановок под напряжением. Зимой хранить в отапливаемом помещении!</p>	<p>Применяется для пожаротушения в коммунальных службах и сельскохозяйственных организациях, предприятиях и хозяйствах.</p>	

Мобильные средства

Это все виды/типы транспортных средств, предназначенных для тушения пожаров, используемых личным составом государственных/муниципальных, корпоративных/частных, добровольных пожарных подразделений/формирований.

Согласно ст. 44 ФЗ-123 к ним относятся:

- Все типы основных/специальных пожарных автомобилей.
- Специальная авиатехника – пожарные вертолеты, самолеты.
- Пожарные поезда, суда.
- Приспособленная для целей пожаротушения техника – танки, трактора, тягачи, автоцистерны, прицепы со специальным оборудованием.
- Возимые пожарные мотопомпы.

Для забора воды мобильными средствами пожаротушения используются гидранты,

установленные на сетях наружного противопожарного водоснабжения, пожарные водоемы, резервуары, пирсы, имеющиеся на территориях населенных пунктов, промышленных предприятий.

Подручные средства

В названии заложена вся суть такой разновидности средств тушения пожаров. Под руку людям, обнаружившим открытый огонь, клубы дыма, обычно попадают емкости – ведра, канистры, котелки, бачки. Поэтому тушение пожаров водой, набранной из бочек, баков, других резервуаров, различных сетей водопровода, с их помощью – это наиболее распространенный вид борьбы с огнем подручными средствами; эффективный, если используется на ранней стадии развития пожара.

К ним также относятся:

- Совковые, штыковые лопаты, с помощью которых можно закидывать фронт распространяющегося пожара песком, землей, мелкой галькой.
- Топоры, ломы, багры, которыми ведут разборку вспомогательных, хозяйственных построек на территории сельскохозяйственных, складских предприятий, частных домовладений. Весь этот ручной инструмент, инвентарь, используемый в хозяйстве, включая ведра, входит в комплектацию пожарного щита.
- Одежда, пледы, плащи, накидки от дождя, куртки из плотных натуральных тканей, которыми можно, накинув на очаг пожара, и его потушить, в т.ч. горящую одежду на человеке.

Типы огнетушителей

Противопожарные требования подразумевают средства тушения пожара. Из огнетушителей выбирают порошковые или углекислотные.

При возгорании электропроводки нельзя пользоваться водой, жидкой пеной, чтобы не было замыкания и поражения током.

Порошковые огнетушители – универсальные, подходят для всех классов пожаров, для сварки выбирают с маркировкой «D». В состав порошкового компонента входят соли калия, натрия, фосфора. В качестве разрыхлителя используют белую сажу, тальк, нефелин, кремниевые соединения. Выпускаются различные модификации огнетушителей:

- закачные (с инертным газом или воздухом);
- газогенераторные;
- самосрабатывающие.

Углекислотные отличаются способностью понижать температуру при выделении газа. Они надежны для газовой сварки, быстро нейтрализуют кислород. Углекислый газ находится в баллонах в жидком состоянии, под давлением.

4. Правила пользования конструкторской и технологической документацией

Конструкторская и технологическая документация используется при конструировании, изготовлении и использовании технических объектов.

Конструкторская документация является основной частью нормативно-технической документации, которая определяет облик изделия и организует его производство. К ней относятся документы графического и текстового формата. Они содержат в себе все необходимые данные, которые требуются для разработки, изготовления, контроля, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

В зависимости от полноты комплекта, конструкторские документы можно разделить на:

- основной конструкторский документ;
- основной комплект конструкторских документов;
- полный комплект конструкторских документов.

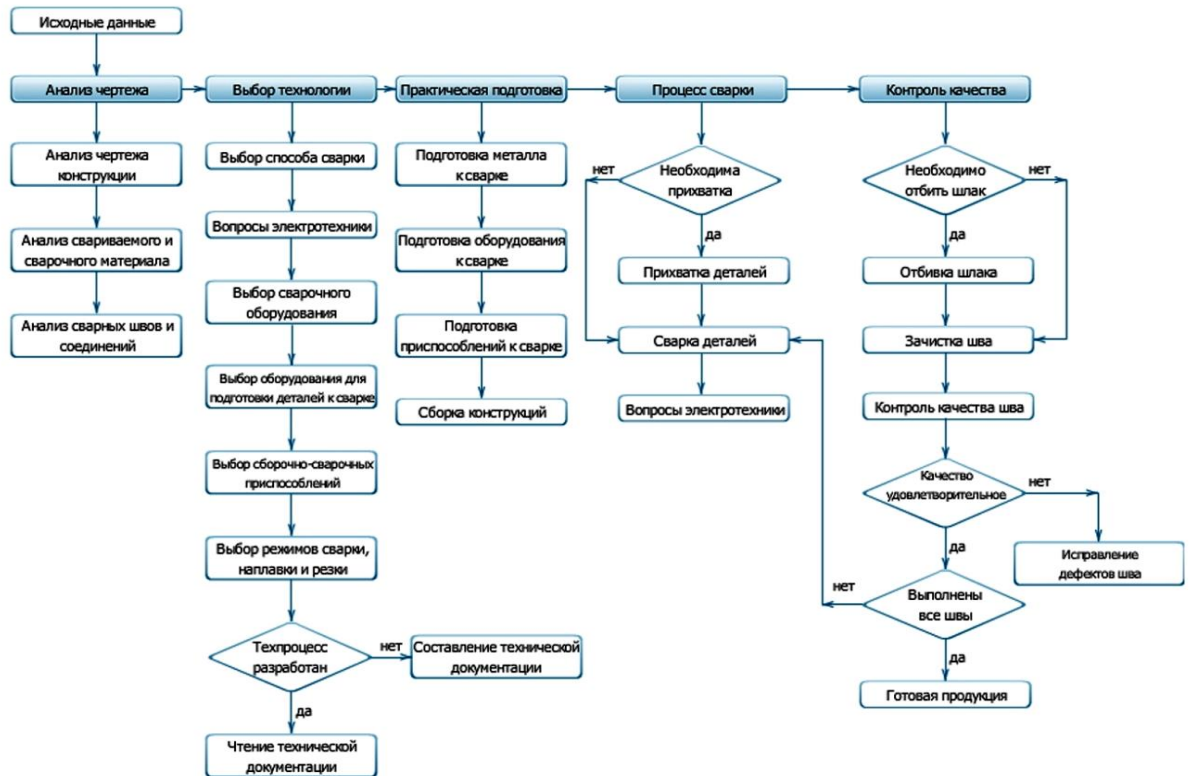
Основной конструкторский документ всегда входит в состав комплекта рабочей конструкторской документации или в его составную часть. Он полностью определяет тип и состав изделия.

Основной комплект конструкторских документов содержит документы, которые составлены на все изделие в целом (технические условия, сборочный чертёж)

Технологическая документация – комплекс графических и текстовых документов, которые определяют технологический процесс получения изделия, его изготовления и т.п. Технологическая документация содержит данные, необходимые для организаций, занимающихся производственным процессом.

Основным технологическим документом является **маршрутная карта**. Она содержит в себе описание технологического процесса изготовления или ремонта продукции по всем операциям, с указанием на оборудование, материалы, трудовые затраты и т.п.

Структура технологического процесса представлена на рисунке 4.1



Технологическая документация общего назначения включает в себя:

- карту эскизов (графически отображает технологию изготовления продукции);
- комплекточная карту (содержит данные о деталях и материалах);
- технологическую инструкцию (включает в себя описание приёмов работы или методы контроля технологического процесса, правила пользования приборами и методы безопасности);
- ведомость расцеховки (отображает данные о том, как проходят изделия по цехам);
- ведомость оснастки (содержит полный перечень инструментов).

Помимо документов общего назначения, существуют также специализированные документации. К ним относятся операционные и технологические карты. Технологические процессы в операционных картах делятся на операции, а в технологических – по видам работ.

Разработка конструкторской документации

Разработка конструкторской документации – это первоначальный процесс перед изготовлением любого изделия или детали, который требует соблюдения многих требований и нормативов. В Российской Федерации разработана и принята единая система конструкторской документации (ЕСКД), в которой прописаны все правила разработки, проектирования, оформления и сдачи документов.

Конструкторская документация представляет собой совокупность документов, в основном чертежей и спецификаций, описывающих изделие или оборудование. Грамотно разработанная

документация позволяет узнать всю необходимую информацию о будущем изделии: его устройство, габариты, способы изготовления и необходимые для этого материалы, требования ГОСТа, необходимость контроля и особенности эксплуатации. Разработка конструкторской документации выполняется на основе технического задания и проектов изготавливаемой продукции и включает в себя текстовую и графическую составляющие. Последняя содержит:

- чертежи (общие, сборочные, габаритные, прочие);
- монтажные схемы;
- различного рода спецификации;
- другие документы, графически отображающие создаваемое изделие.

Текстовая часть является не менее ёмкой и значимой, она включает:

- пояснительные записки;
- любого рода описания;
- технические паспорта;
- должностные инструкции;
- ведомости и ремонтную документацию.

Конструкторская документация разрабатывается в следующей последовательности:

1. Техническое предложение;
2. Эскизный проект;
3. Технический проект;
4. Рабочая документация.

Этап технического предложения предполагает следующие мероприятия: от заказчика исполнителю передается техническое задание (ТЗ) – исходный документ, в котором отражается вся необходимая информация, касающаяся технических эксплуатационных требований к исследованиям или проектируемому объекту, указываются этапы проведения работ, разрабатываемая техническая документация, показатели качества и технико-экономические требования. После получения ТЗ исполнитель предлагает заказчику несколько вариантов выполнения задания и согласовывает эти вопросы с заказчиком.

На этапе эскизного проектирования выявляется принципиальная возможность обеспечения заданных служебных свойств изделия при разных вариантах оформления и оценивается их технологическая целесообразность. Генеральное конструирование, оформление предопределяется опытом создания изделия данного типа, а выбор формы и размеров отдельных элементов конструкций определяется параметрами и особенностями данной конструкции. При проектировании этих элементов конструктор, наряду с выбором материалов и метода получения заготовок назначает расположение сварных соединений их тип и способ сварки, таким образом, уже на первом этапе решаются вопросы технологичности конструкции путем широкого использования широких возможностей компоновки конструкций из отдельных элементов и применение прогрессивных способов сварки для их соединения. Если конструкция разработана

без учета технологичности, то технолог не в состоянии использовать эффективные передовые сварочные технологии.

На этапе технического проекта конструкции основных и наиболее трудоемких деталей и элементов прорабатывается в нескольких вариантах, которые сравниваются между собой по технологичности и надежности, а также по другим технико-экономическим показателям.

Этап рабочего проектирования предполагает детальную технологическую проработку выбранного варианта изготовления сварной конструкции. На этом этапе прорабатываются чертежи и технические условия на изготовление крупных заготовок и узлов, в том числе поступающие от смежных предприятий. После этого прорабатывается документация на все основные остальные узлы и детали, а также составляются технические условия на сборку изделия, его испытания и эксплуатацию. Рабочие чертежи отправляется в отдел главного сварщика, где при разработке технологий, разработке конструкции выявляются недостатки, связанные с выбором материала по их свариваемости видов заготовок размеров швов, характера подготовки кромок, припуски на обработку и т.д. и т.п. По согласованию с конструктором-технологом, который ведет разработку данного изделия, вносятся изменения в чертежи и технологическую документацию.

Разработка технологической документации

Технологический процесс (ТП) – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению состояния изделия и определению этого состояния (ГОСТ 3.1109-82).

Для разработки технологического процесса необходимы документы и сведения об изделии. При разработке технологического процесса используют информацию, которая в зависимости от обязательности применения и содержания делится на руководящую, базовую и справочную.

Руководящая информация – государственные и отраслевые стандарты, стандарты предприятия, руководства по ремонту, технические условия, руководства по эксплуатации, классификаторы, нормативы и нормы, технологические и организационные инструкции, требования по охране труда и окружающей среды.

Базовая информация включает сведения о видах и об объеме оказания услуг, чертежи изделий, паспорта оборудования и формуляры оснастки.

Справочная информация – отчеты о научно-исследовательских работах, технологическая документация опытного производства, справочники, каталоги оборудования, приспособлений и инструментов, различные методические материалы.

При проектировании технологического процесса используют методы заимствования и синтеза. Метод заимствования основан на использовании процессов и их элементов, имеющих в архивах предприятий. Хотя полученный процесс состоит из проверенных частей, однако в нем нет новых решений. Метод синтеза основан на разработке технологического процесса с использованием новых элементов процесса и их связей с применением логических правил и

аналитических зависимостей. С помощью синтеза получают принципиально новые технические решения.

Проектирование технологического процесса включает:

- анализ исходных данных;
- выбор процесса-аналога и его анализ;
- выбор технологических баз (при необходимости);
- составление технологического маршрута;
- выбор оборудования и оснастки;
- разработку технологических операций;
- определение оптимальной последовательности операций;
- нормирование технологического процесса;
- обеспечение требований охраны труда и окружающей среды;
- расчет экономической эффективности технологического процесса;
- оформление технологического процесса.

Структура технологического процесса имеет три составляющие: **временную, функциональную и пространственную**. Временная составляющая определяет длительность и последовательность элементов технологического процесса; функциональная – состав элементов и порядок превращения изделия из одного состояния в другое; пространственная – размерные связи между базовыми и обрабатываемыми поверхностями.

Для оценки принимаемых решений используют локальные (единичные) и глобальные (обобщающие) критерии. Локальные критерии оценивают расход производственных ресурсов (материальных, энергетических и трудовых), синхронность операций по штучному времени, кратность стойкости режущего инструмента, длину транспортных перемещений, использование унифицированных элементов и др. Глобальные критерии – затраты труда или себестоимость.

Под оптимизацией технологического процесса понимают поиск его лучшего варианта путем синтеза с позиций принятых критериев и учетом ограничений. Оптимизация заключается в том, что из числа возможных типов и видов технологических операций, образующих процесс, находят такой состав и последовательность, которые обеспечивают установленные ограничения по производительности и качеству с наименьшими затратами.

При выборе варианта технологического процесса одновременно ведут поиск как новых, так и эффективных технических решений. Различные сочетания операций, образующих процесс. Каждая составляющая операция ТП необходима, а все вместе они достаточны для превращения изделия в состояние, которое определено конструкторской документацией.

Принцип оптимальности заключается в том, что каково бы ни было состояние системы в

результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирается таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к максимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный.

Воздействия на изделие в текстовом документе записывают в технологический процесс операций, переходов, приемов работ, физических и химических процессов. Операции нумеруют числами ряда арифметической прогрессии (5, 10, 15 и т.д.), допускается к числам слева добавлять нули, переходы – числами натурального ряда (1, 2, 3 и т.д.), а установы – прописными буквами русского алфавита (А, Б, В и т.д.). Для обозначения позиций и осей применяют римские цифры.

Технические требования к изделию оформляют по ГОСТ 2.316-2008.

При изложении технологического процесса информацию вносят построчно, для этого в маршрутной карте предусмотрен ряд типов строк, каждому из которых соответствует свой служебный символ. В качестве таких символов приняты буквы русского алфавита, проставляемые перед номером соответствующей строки, и выполняемые прописными буквами.

Служебные символы предназначены для обработки содержания информации средствами автоматизации. Строки разделяют на графы вертикальными отрезками прямой линии длиной 0,5-1,5 мм. Для различных документов предусматривают графы разной длины, которые шифруют. Документ принимает структуру таблицы. Служебные символы и наименование граф определяют состав информации, размещенной в графах данного типа строки. Эти символы проставляют на строках ниже граф, в которых указаны их наименования и обозначения. Информация, которую вносят в соответствующие графы документа, и последовательность заполнения этой информации для каждой операции определена ГОСТ 3.1118-82.

Правила оформления технологических документов применительно к обработке резанием и сборке изложены в ГОСТ 3.1404-86, общие требования к формам, бланкам и документам – в ГОСТ 3.1129-93 и ГОСТ 3.1130-93, а комплектность документов – в ГОСТ 3.1119-83. Правила записи операций и переходов для обработки резанием и сборке определены ГОСТ 3.1702-79. Указанные правила применимы и к оформлению других процессов и операций технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Маршрутная карта содержит сведения о всем технологическом процессе. Информацию в строках, имеющих служебный символ О, приводят в технологической последовательности по всей длине строки с возможностью переноса на следующие строки. Содержание операции включает действия исполнителя, окончательные параметры изделия и его комплектующие части. В маршрутной карте название операций записывают в форме прилагательного к слову «операция» и краткое содержание работ. Операция получает название от наименования того оборудования, на котором она выполняется. Краткую запись содержания операции делают с указанием вида обработки и обрабатываемых поверхностей. Информацию на строках, имеющих служебный символ Т, приводят в данной последовательности: приспособления, вспомогательный инструмент, режущий инструмент, средства измерений.

При разработке типовых и групповых технологических процессов в маршрутной карте указывают только постоянную информацию, относящуюся к классу или группе изделий.

Операционная карта описывает одну операцию. Применительно к обработке резанием в карте указывают:

- наименование изделия;
- вид и материал заготовки, его твердость;
- наименование и модель станка, сведения о приспособлениях;
- способ установки заготовки;
- содержание переходов с указанием режимов обработки;
- наименование режущего инструмента и средств измерений;
- машинное и вспомогательное время обработки.

Состав сведений должен быть достаточным для выполнения операции с необходимым качеством.

Запись содержания перехода включает:

- ключевое слово из рекомендуемых, характеризующее способ обработки и выраженное глаголом в неопределенной форме (например, точить, сверлить и т.д.);
- наименование обрабатываемой поверхности, конструктивных элементов или предметов производства (например, цилиндр, галтель и др.);
- информацию о размерах или их условных обозначениях и конструктивных элементах;
- дополнительную информацию, характеризующую количество одновременно или последовательно обрабатываемых поверхностей, характер обработки (например, предварительно, одновременно, по копиру и т.д.).

При записи содержания операции используют полную или сокращенную форму. Полную форму записи выполняют при отсутствии графических изображений и для комплексного отражения всех действий исполнителей. Сокращенную запись выполняют при наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают всю необходимую информацию об обработке.

Содержание перехода в документах приводят по всей длине строки с возможностью переноса информации на последующие строки. В записи информации о переходе не рекомендуется указывать шероховатость обрабатываемых поверхностей. Запись вспомогательных переходов выполняют так же, как и запись основных переходов.

Данные о технологической оснастке с указанием ее наименования приводят с использованием классификаторов и стандартов на кодирование. Информацию дают в последовательности, указанной для маршрутной карты. Технологические режимы приводят после записи состава применяемой технологической оснастки.

В технологических документах для каждой операции обязательно приводят требования безопасности труда по ГОСТ 3.1120-83 со ссылками на инструкции по охране труда (ИОТ), требования системы стандартов безопасности труда (ССБТ), санитарные нормы и правила и

другие документы. Необходимо указывать средства индивидуальной (респираторы, наушники, пинцеты, щипцы и др.) и коллективной защиты (ограждения, экраны, вентиляционные устройства и др.). Сведения приводят в строках для записи технологической оснастки. Допускается текстовое изложение этих требований. Ссылки на ИОТ делают в графе строки О, следующей за наименованием операции.

Оформление документов.

Технологический процесс вначале разрабатывают для обслуживания или ремонта изделия нового вида, а затем этот процесс совершенствуют с учетом опыта его применения и анализа, а также достижений науки и производства.

Технологическую документацию разрабатывают технологи предприятия или цеха. Работа отдела или бюро планируется и подчинена технологической подготовке производства. Технологические документы оформляют на бланках, соответствующих видам процессов и способам обработки изделий. Информацию излагают на листах стандартных формы и размеров. Предусмотрены формы с вертикальными и горизонтальными полями подшивки для описания единичных, типовых и групповых технологических процессов, выполняемых с использованием различных способов обработки. Документацию учитывают и хранят в заводском архиве.

Оформление технологического документа включает комплекс процедур, необходимых для его подготовки и утверждения в соответствии с порядком, установленным на предприятии.

На стадии опытного производства обычно разрабатывают единичный процесс маршрутного описания. Маршрутная карта является основным и обязательным документом, в котором описывается весь процесс в технологической последовательности. Маршрутное описание процесса с течением времени превращается в маршрутно-операционное или операционное. Процедура внесения изменений в технологическую документацию стандартизована.

По мере разработки и накопления технологических документов становится целесообразной технологическая унификация в виде разработки типовых, групповых или модульных процессов. Технологическая документация проходит технологическую экспертизу и нормоконтроль на предмет обеспечения требований, установленных нормативными и конструкторскими документами.

Сварочное производство в строительстве (прокладка магистральных, внутриквартальных трубопроводов, монтаж зданий и др.) и на производстве (заводы по производству металлоконструкций, сварка каркасов машин и др.) требует организационной подготовки. В зависимости от требований и условий производства работ требуется разработка организационно-технологической документации. К ней относятся:

- проекты производства сварочных работ ППСР;
- технологические карты на сварочно-монтажные работы;
- операционно-технологические карты сборки и сварки стыковых соединений;
- технологические инструкции по сварке

Проект производства сварочных работ

Разработка проекта производства сварочных работ (ППСР) необходима при строительстве объектов с применением сварки. На участке строительства обычно входит в состав общего ППР на объект, выделяется отдельный раздел. Приводятся общие данные об объекте проведения работ, организации сварочного-монтажного участка, сведения о применяемом оборудовании, их количестве.

Основными решениями в ППСР являются организация сварочного поста. Учитываются сроки выполнения работ по календарному графику и, отталкиваясь от них, определяется количество постов для сварки, их комплектность. В графики поставки материалов включаются требуемые сварочные материалы в зависимости от принятой технологии сварки (механизированная, ручная, автоматическая).

От качества разработанного ППР на сварочные работы зависит весь технологический процесс производства работ.

В ППСР должны быть отражены все требования к применяемым сварочным технологиям, технике сварки, основным и сварочным материалам, сварочному оборудованию, контролю сварных соединений. Проект производства сварочных работ является обязательной частью проекта строительно-монтажных работ.

Кроме этого, необходимо иметь следующие документы:

- формы приказов о назначении ответственных за выполнение сварочных работ и допуске сварщиков на объект;
- исполнительная схема расположения сварных соединений;
- журнал сварочных работ;
- акты визуально-измерительного контроля;
- акт на проверку сварочно-технологических свойств сварочных материалов;
- журнал подготовки, прокалки и выдачи в производство сварочных материалов;
- акт паспортизации сварочного оборудования;
- акт на сварку контрольного сварного соединения;
- акты освидетельствования скрытых работ;
- методы и объемы контроля сварных соединений;
- взаимодействие с лабораториями неразрушающего и разрушающего контроля.

Операционно-технологические карты сборки и сварки, технологические инструкции.

Операционно-технологические карты (ОТК) сборки и сварки предназначены для настройки сварочного оборудования, выбора режимов работы применяемого оборудования, отражаются операции сборки и процесса выполнения сварочных соединений.

Состав операционно-технологической карты:

- параметры сварного соединения с указанием способа сварки, типа сварного соединения

и шва, толщины стенки элементов;

- применяемые сварочные материалы;
- раздел предварительного подогрева стыковых соединений перед и во время выполнения работ;
- геометрические размеры разделки кромок;
- параметры сварного соединения;
- конструктивные элементы, размеры и отклонения соединений;
- параметры сварки;
- последовательность наложения валиков при многопроходных швах;
- очистка элементов конструкций;
- подготовка элементов свариваемых кромок и поверхности под сварку;
- подгорев кромок и прилегающей поверхности;
- сборка элементов конструкций;
- сварка свариваемых элементов;
- маркировка сварных соединений;
- объемы контроля качества.

При допуске сварщиков на объект проводится допуск с выполнением допусковых контрольных сварных соединений (КСС) по операционно-технологическим картам на их сварку. Количество и размерность элементов определяется на основании действующей нормативной документации.

Для каждой операции приводятся требуемые для ее проведения материалы, оборудование и инструмент. По такой ОТК сварка любого типа свариваемых элементов (трубы, двутавра, уголков, листов и др.) проходит у сварщика без лишних вопросов к техническому персоналу. Все этапы расписываются в полном объеме в плоть мелочей.

Карта начинается с описания возможной сферы применения. В ней подробно указываются типы металлоконструкций, по отношению к которым применима данная технология, расписывается расположение деталей и углы креплений. Определяется температурный режим.

Разработкой технологических карт сборки и сварки должен заниматься главный сварщик или инженерный персонал, имеющий удостоверение и протокол НАКС не ниже III уровня. Сложность разработки операционно-технологических карт сборки и сварки обуславливается специфичностью выполняемых работ и наличием соответствующих знаний у разработчика.

ОТК составляются на все технологии, кроме технологических карт, технологические инструкции.

Технологическая инструкция по сварке необходима для производства сварочных работ на строительном участке или в заводских условиях на производственной базе. Содержит описание подготовительных и основных процессов, а также заключительные этапы по приемке соединений. В подготовительном периоде указывают требования по аттестации к руководящему персоналу и сварщикам, применяемого оборудования и сварочных материалов, порядок и методы устранения отбракованных по результатам контроля стыков.

Совокупность всех необходимых сварщику спецификаций оформляется как карта технологического процесса сварки (КТПС).

В ней подробно изложены технологии для сварки каждого вида соединения, которое будет использовано в общем объеме работ. Описаны все базовые технологические моменты и параметры сварных швов.

КТПРС – неотъемлемая и унифицированная часть всего комплекта документов технологического процесса в целом. Цель документа – целенаправленно направлять сварщиков по принятым процедурам, использующим повторяющиеся и надежные способы сварки с целью создания качественных сварных швов в соответствии с требованиями действующих ГОСТов. КТПРС разработана для каждого сплава, материала и вида сварки. Все технологии многократно проработаны и апробированы.

Карты технологического процесса сварки основной документ, определяющий основные параметры режима сварки, требования к условиям выполнения сварки, сварочному оборудованию, сварочным материалам, последовательности и порядку выполнения отдельных проходов и швов. В них обычно указывают методы контроля качества и требования к качеству сварных соединений, указывают необходимые дополнительные технологические операции и режимы их выполнения, например, подогрев перед сваркой и термическую обработку после сварки, способ защиты корня шва, механическую обработку швов и др. Карты технологического процесса сварки являются конечным, наиболее конкретизированным документом для сварщика.

Обозначение сварных швов на чертежах.

Условное изображение сварных швов на чертежах выполняют согласно ГОСТ 2.312-72 "Условные изображения и обозначения швов сварных соединений".

В соответствии со стандартом ГОСТ 2.312-72 для условного изображения сварного шва независимо от способа сварки используются два типа линий: **сплошная**, если шов видимый или **штриховая**, если шов невидимый (рис. 4.2). На линию шва указывает односторонняя стрелка. Стрелка может выполняться с полкой для размещения условного обозначения шва и при необходимости вспомогательных знаков.

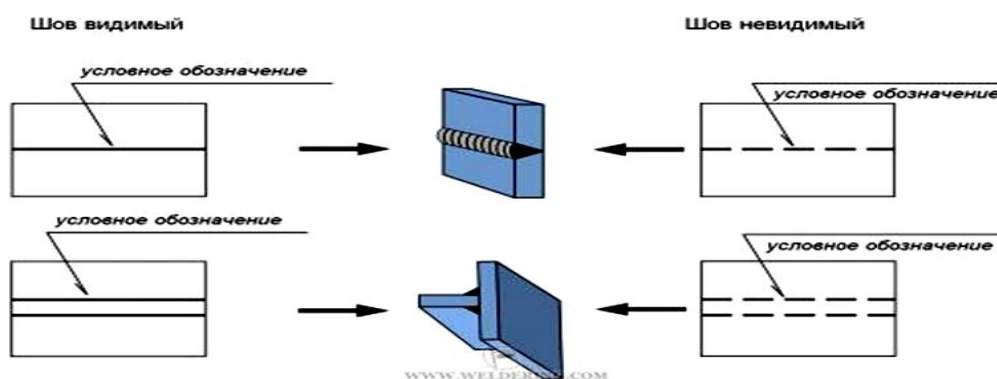


Рисунок 4.2 – Условное обозначение швов

Условное обозначение размещают над полкой, если стрелка указывает на лицевую сторону сварного шва (т.е. если он видимый), или под полкой, когда шов расположен с обратной стороны (т.е. если шов невидим) (табл. 4.1). При этом, за лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку. За лицевую сторону двухстороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва. За лицевую сторону двухстороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.

Таблица 4.1

Вспомогательные знаки.

Вспомогательный знак	Описание	Шов видимый	Шов невидимый
Г	Шов выполнить при монтаже изделия (монтажный шов).		
О	Шов по замкнутой линии.		
П	Шов по незамкнутой линии.		
/	Шов прерывистый с цепным расположением.		
И	Шов прерывистый с шахматным расположением.		
Р	Снять выпуклость шва.		
Э	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом		

На приведенном ниже рисунке 4.3 показана структура условного обозначения стандартного сварного шва.

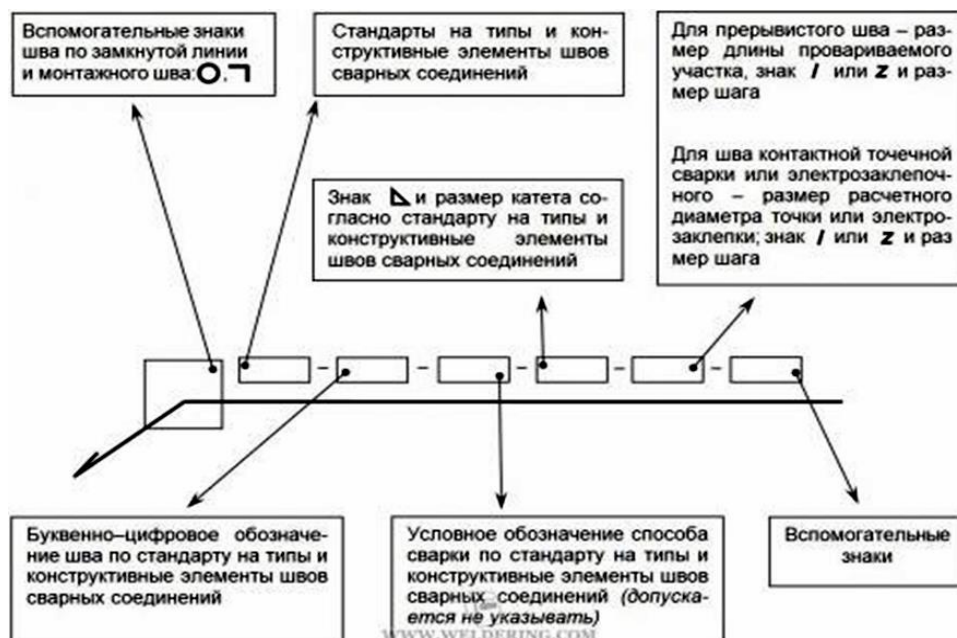


Рисунок 4.3 – Структура условного обозначения стандартного сварного шва.

Буквенно-цифровое обозначение шва по соответствующему стандарту представляет собой комбинацию, состоящую из буквы, определяющей тип сварного соединения и цифры, указывающей вид соединения и шва, а также форму разделки кромок. Например: С₁, Т₄, Н₃.

Обозначения способа сварки (А, Г, УП и другие) указываются в стандарте, по которому выполняется указанный на чертеже процесс сварки.

При наличии на чертеже нескольких одинаковых швов условное обозначение шва указывается только у одного из них, а применительно к остальным одинаковым швам указываются только их порядковые номера (на месте, где должно быть расположено условное обозначение шва). При этом, на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным обозначением шва, также допускается указывать количество одинаковых швов (рис. 4.4).

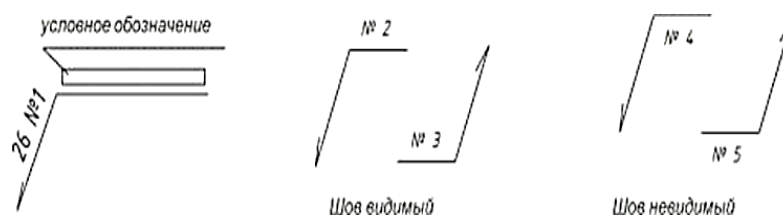


Рисунок 4.4 – Пример обозначения одинаковых швов на чертеже.

Швы считаются одинаковыми, если:

- одинаковы их типы и размеры конструктивных элементов в поперечном сечении;
- к ним предъявляются одни и те же технические требования.

Если для шва сварного соединения установлен контрольный комплекс или категория контроля шва, то их обозначение допускается помещать под линией выноской (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Обозначение контрольного комплекса или категории контроля шва на чертеже.

Шов, размеры конструктивных элементов которого стандартами не установлены (нестандартный шов), изображают с указанием размеров конструктивных элементов, необходимых для выполнения шва по данному чертежу (рис. 4.6).

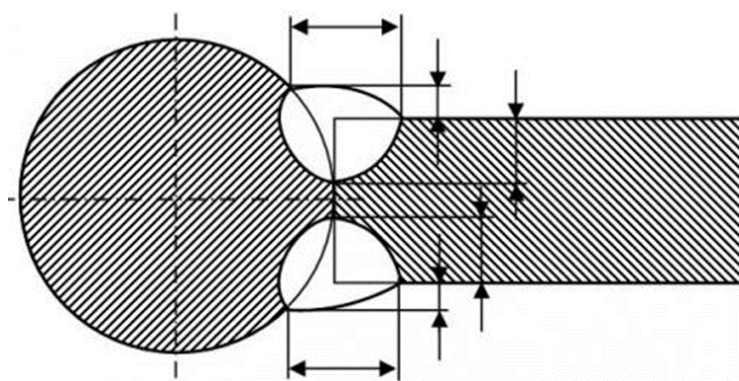


Рисунок 4.6 – Пример обозначения параметров нестандартных швов.

5. Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений, способы подготовки кромок соединения для сварки

Стыковые соединения используют, когда необходимо из отдельных деталей изготовить плоскую конструкцию заданных размеров.

Кромки стыковых соединений готовят различными стандартными способами (рис. 5.1) в зависимости от толщины свариваемых листов и вида сварки.

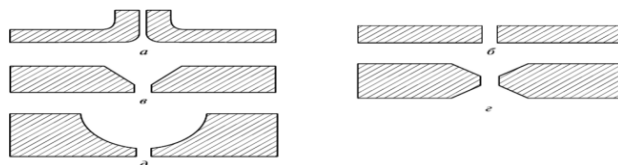


Рисунок 5.1 – Виды подготовки кромок стыковых соединений: *а* – с отбортовкой; *б* – без разделки; *в* – с V-образной разделкой; *г* – с X-образной разделкой; *д* – с U-образной разделкой

При соединении металла толщиной до 3 мм кромки отбортовывают (рис. 5.1, *а*), а потом сваривают, как правило, без присадочного материала неплавящимся электродом. Этот способ используется при изготовлении конструкций неответственного назначения, которые не несут значительных усилий и нагрузок в процессе эксплуатации.

Стандарты регламентируют для различных способов сварки и толщин металла тип соединения, форму и размеры подготовки кромок, характер сварного шва, форму и конструктивные элементы его поперечного разреза, условное обозначение сварного соединения. Стандарты определяют конструктивные элементы подготовки кромок и возможные отклонения их основных размеров, а также размеры швов и предельные отклонения их параметров.

При возможности полноценной сварки с одной или двух сторон разделку не выполняют (рис. 5.1, *б*), но, если не удастся надежно проварить корень шва с двух сторон, делают разделку кромок (рис. 5.1, *в*, *д*). Основные ее параметры показаны на рисунке 5.2.

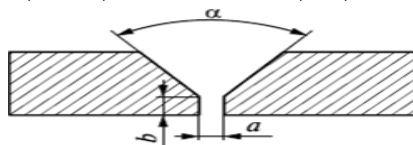


Рисунок 5.2 – Параметры разделки кромок V-образного стыкового соединения: *а* – зазор; *б* – притупление; α – угол раскрытия кромок

V-образную разделку осуществляют при небольшой толщине свариваемых листов (до 20 мм) в случае невозможности двусторонней сварки, например, при выполнении продольного или кольцевого шва в трубе малого диаметра. Тогда для качественного формирования корня шва используют сменные или остающиеся подкладки. Применяют также провар корня шва в положении «на весу» вольфрамовым электродом без присадки. Недостатком такой разделки являются увеличенные напряжения и деформации в конструкции.

X-образную разделку выполняют при сварке металла толщиной 20-40 мм. При этом достигают более высокой производительности (необходимо меньше наплавленного

электродного металла, чем при V-образной разделке). Преимуществом является также уменьшение напряжений и деформаций за счет симметричной формы разделки.

U-образную разделку используют для сварки металла толщиной более 40 мм. Эта разделка – самая сложная. Сварку металла таких толщин выполняют в основном механизированными способами.

Сварку деталей неодинаковых толщин выполняют так, как для деталей одинаковых толщин, если разница толщин не превышает значений, приведенных в соответствующих ГОСТах на сварные соединения.

Если производят сварку деталей неодинаковых толщин, конструктивные элементы подготовки кромок и размеры шва необходимо выбирать по большей толщине. При больших разностях на детали с большей толщиной необходимо выполнить скос с одного или двух боков до толщины тонкой детали. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва выбирают по меньшей толщине.

При сварке стыковых соединений листовых конструкций допускаются смещения свариваемых кромок одна относительно другой. Смещение составляет 0,5 мм при толщине детали (S) до 4 мм, и 1,1 мм – при $S=4-10$ мм. Если толщина $S=10-100$ мм, то смещение $0,15S$ мм, но не более 3 мм, и $(0,01S + 2)$ при $S>100$ мм, но не более 4 мм.

Соединением внахлест сваривают металл толщиной до 20 мм. Такое соединение используют вместо стыкового, когда ставится заплатка небольшой площади или затруднена подгонка листов, например, при сварке под водой. Работоспособность такого соединения ниже, чем стыкового, вследствие дополнительного момента изгиба. Соединения внахлест применяют при установке подкрепляющих дублирующих листов, толщина которых не меньше, чем основных, под механизмы и приборы, при облицовке емкостей и других элементов аппаратов коррозионностойким металлом. В этих случаях выполняют шов по периметру листа, а также швы прорезные или электрозаклепками для закрепления по всей поверхности.

Угловое соединение (рис. 5.3, а) выполняют, когда необходимо сформировать объемную конструкцию типа котла, ящика, резервуара, балки большого сечения и т.д. При этом угол между деталями, которые соединяются, может быть прямым, тупым или острым. В случае необходимости провара на всю толщину выполняют разделку, как при стыковых соединениях.

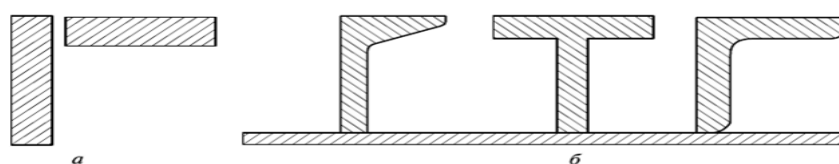


Рисунок 5.3 – Угловое (а) и тавровое (б) соединения

Тавровое соединение (рис. 5.3, б) используют для подкрепления ребрами жесткости плоских листовых полотнищ и придания им устойчивости (секции, которые формируют корпус судна, прямостенные резервуары и т.п.). Ребра жесткости в виде уголка или тавра должны устанавливаться на лист только стенкой и привариваться к нему односторонним сплошным швом

или двусторонним прерывистым, выполненным цепочкой или в шахматном порядке. В качестве ребер жесткости не рекомендуется использовать такие профили, как двутавр, швеллер или уголок, приваренный полкой. Это увеличивает объем сварочных работ, ведет к утяжелению конструкции и развитию коррозионных процессов под полкой профиля.

В ходе подготовительных работ применяются такие способы разделки кромок:

- ✓ **Газовым резаком.** Метод не отличается высокой точностью и качеством поверхности. Обязательно требуется дополнительная механическая обработка для выравнивания фаски и его шлифовки.
- ✓ **Механическая резка.** При обработке строганием или фрезерованием дополнительной обработки не требуется. После долбежки нужна такая же доработка, как и после газовой резки.

На заготовках, имеющих форму тел вращения, удобно формировать фаски на токарно-расточных станках.



Для криволинейных швов применяются специализированные фрезероальные станки или универсальные обрабатывающие центры. Применение специализированного оборудования позволяет снизить себестоимость операции.

Для прямолинейных кромок доступен самый широкий выбор оборудования. Наиболее производительными и экономичными являются строгальные станки. Доступна также обработка фрезерованием и пневмошлифовка.

Дополнительная механическая обработка для выравнивания поверхности может проводиться вручную, с применением УШМ. Сохранилась также и доработка с применением зубила и напильника. К механизированным способам относят пескоструйную и дробеструйную обработку.

Химическая очистка проводится для полного обезжиривания и удаления следов посторонних химических веществ в околошовной области, как минимум на 30 мм в каждую сторону от линии шва.

Геометрические параметры сварного шва

Стыковой шов. Элементами геометрической формы стыкового шва (рисунок 5.4) являются: ширина шва – e , выпуклость шва – q , глубина провара – h , толщина шва – c , зазор – b , толщина свариваемого металла – S .

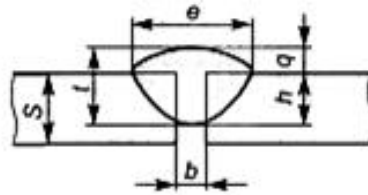


Рисунок 5.4 – Геометрические параметры стыкового шва

Ширина сварного шва – расстояние между видимыми линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва при сварке плавлением.

Выпуклость сварного шва определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом, и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости.

Глубина проплавления (провара) представляет собой наибольшую глубину расплавления основного металла в сечении шва. Это глубина проплавления свариваемых элементов соединения.

Толщина шва включает выпуклость сварного шва q и глубину проплавления ($s=q+h$).

Зазор – расстояние между торцами свариваемых элементов. Устанавливается в зависимости от толщины свариваемого металла и составляет 0-5 мм (большой размер для толстого металла).

Характеристикой формы шва является коэффициент формы сварного шва K_n – коэффициент, выражаемый отношением ширины стыкового или углового шва к его толщине. Для стыкового шва оптимальное значение K_n – от 1,2 до 2 (может изменяться в пределах 0,8-4).

Другой характеристикой формы шва является коэффициент выпуклости сварного шва, который определяют отношением ширины шва к выпуклости шва: K_y . Коэффициент K_y не должен превышать 7-10.

Ширина сварного шва и глубина провара зависят от способа и режимов сварки, толщины свариваемых элементов и других факторов.

Угловой шов. Элементами геометрической формы углового шва (рис. 4.5) являются: катет шва – k , выпуклость шва – q , расчетная высота шва – p , толщина шва – a .

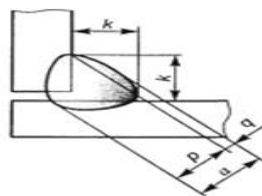


Рисунок 4.5 – Геометрические параметры углового шва

Катет углового шва – кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части.

Выпуклость сварного шва определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом, и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости.

Расчетная высота углового шва – длина перпендикуляра, опущенного из точки

максимального проплавления в месте сопряжения свариваемых частей на гипотенузу наибольшего вписанного во внешнюю часть углового шва прямоугольного треугольника.

Толщина углового шва – наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла.

Если шов выполнен вогнутым, то измеряют вогнутость углового шва. Она определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы углового шва с основным металлом, и поверхностью шва, измеренным в месте наибольшей вогнутости.

При сварке угловых швов регламентируются допустимые вогнутость и выпуклость швов; ограничивают вогнутость шва 30 % катета шва K , но не более 3 мм, выпуклость шва допускается такая же при условии, что она не уменьшает расчетной длины катета.

Высота катетов углового шва определяется на стадии проектирования сварной конструкции, но должна быть не больше 3 мм для деталей толщиной до 3 мм и не больше 1,2 толщины более тонкой детали при сварке металла толщиной более 3 мм. Предельные отклонения размеров каждого из катетов углового шва от номинального значения должны быть 1 мм при $k < 5$ мм и 2 мм при $k > 6$ мм.

В зависимости от параметров сварки и формы подготовки свариваемых кромок деталей доли участия основного и наплавленного металлов в формировании шва могут существенно изменяться (рисунок 4.6).

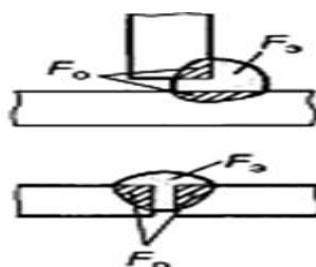


Рисунок 4.6 – Площади сечения расплавленного основного металла (F_0) и наплавленного (F_3) электродного металла

При изменении доли участия основного и присадочного металлов в формировании шва его состав может изменяться, следовательно, изменяются и его механические, коррозионные и другие свойства.

6. Основы материаловедения

Материаловедение – наука о связях между составом, строением и свойствами материалов и закономерностях их изменений при внешних физико-химических воздействиях.

Все материалы по химической основе делятся на две основные группы – металлические и неметаллические. К металлическим относятся металлы и их сплавы. Металлы составляют более 2/3 всех известных химических элементов.

В свою очередь, металлические материалы делятся на черные и цветные. К черным относятся железо и сплавы на его основе — стали и чугуны. Все остальные металлы относятся к цветным. Чистые металлы обладают низкими механическими свойствами по сравнению со сплавами, и поэтому их применение ограничивается теми случаями, когда необходимо использовать их специальные свойства (например, магнитные или электрические).

6.1 Структура и свойства твердых тел. Строение сплавов и диаграммы состояния.

В технике под *металлами* понимают вещества, обладающие комплексом металлических свойств: характерным металлическим блеском, высокой электропроводностью, хорошей теплопроводностью, высокой пластичностью.

Кристаллические решетки.

Все вещества в твердом состоянии могут иметь кристаллическое или аморфное строение. В аморфном веществе атомы расположены хаотично, а в кристаллическом – в строго определенном порядке. Все металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение.

Для описания кристаллической структуры металлов пользуются понятием кристаллической решетки. Кристаллическая решетка – это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой расположены атомы. Наименьшая часть кристаллической решетки, определяющая структуру металла, называется элементарной кристаллической ячейкой.

На рисунке 6.1 изображены элементарные ячейки для наиболее распространенных кристаллических решеток. В *кубической объемно-центрированной* решетке (ОЦК) (рис. 6.1, а) атомы расположены в узлах ячейки и один атом в центре куба. Такую решетку имеют хром, вольфрам, молибден и др.

В *кубической гранцентрированной* решетке (ГЦК) (рис. 6.1, б) атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани. Эту решетку имеют алюминий, медь, никель и другие металлы. В *гексагональной плотноупакованной* решетке (ГПУ) (рис. 6.1, в) атомы расположены в вершинах и центрах оснований шестигранной призмы и три атома в середине призмы. Такой тип решетки имеют магний, цинк и некоторые другие металлы.

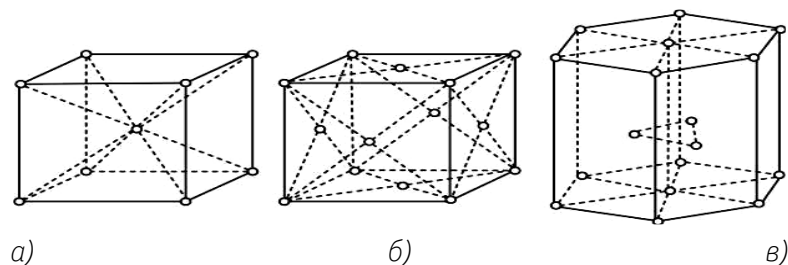


Рисунок 6.1 Основные виды кристаллических решеток.

Кристаллизация металлов.

Процесс образования в металлах кристаллической решетки называется кристаллизацией. Для изучения процесса кристаллизации строят кривые охлаждения металлов, которые показывают изменение температуры (t) во времени (τ). На рисунке 6.2 приведены кривые охлаждения аморфного и кристаллического веществ. Затвердевание аморфного вещества (рис. 6.2, а) происходит постепенно, без резко выраженной границы между жидким и твердым состоянием. На кривой охлаждения кристаллического вещества (рис. 6.2, б) имеется горизонтальный участок с температурой $t_{кр}$, называемой температурой кристаллизации. Наличие этого участка говорит о том, что процесс сопровождается выделением скрытой теплоты кристаллизации. Длина горизонтального участка – это время кристаллизации.

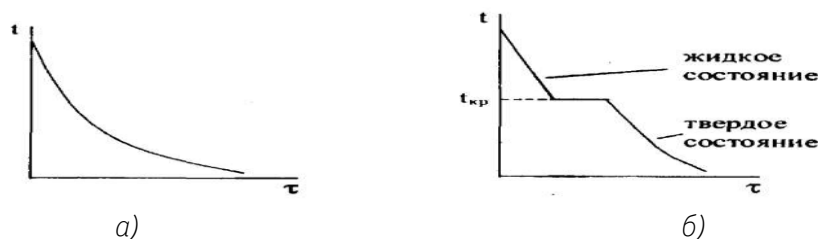


Рисунок 6.2 – Кривые охлаждения аморфного и кристаллического тел

Кристаллизация металла происходит постепенно. Она объединяет два процесса, происходящих одновременно: возникновение центров кристаллизации и рост кристаллов. В процессе кристаллизации, когда растущий кристалл окружен жидкостью, он имеет правильную геометрическую форму. При столкновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается (рис. 6.3).

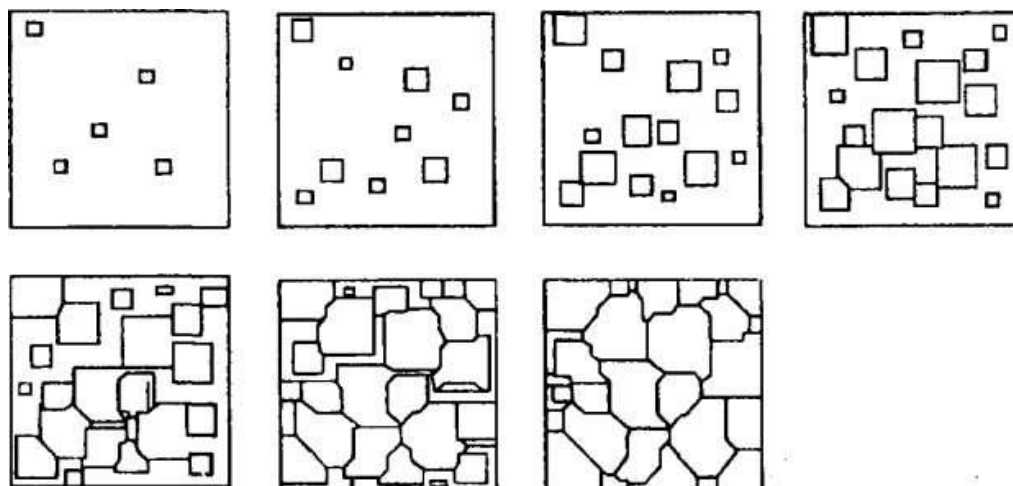


Рисунок 6.3 – Схема процесса кристаллизации металла

После окончания кристаллизации образуются кристаллы неправильной формы, которые называются **зернами** или **кристаллитами**. Внутри каждого зерна имеется определенная ориентация кристаллической решетки, отличающаяся от ориентации решеток соседних зерен.

Полиморфизм.

Некоторые металлы в зависимости от температуры могут существовать в различных кристаллических формах. Это явление называется **полиморфизм** или **аллотропия**, а различные кристаллические формы одного вещества называются **полиморфными модификациями**. Процесс перехода от одной кристаллической формы к другой называется полиморфным превращением. Полиморфные превращения протекают при определенной температуре.

Полиморфные модификации обозначают строчными греческими буквами α , β , γ , δ и т.д., причем, α соответствует модификации, существующей при наиболее низкой температуре. Полиморфизм характерен для железа, олова, кобальта, марганца, титана и некоторых других металлов.

Важное значение имеет полиморфизм железа. На рисунке 6.4 изображена кривая охлаждения железа. Полиморфные превращения характеризуются горизонтальными участками на кривой охлаждения, так как при них происходит полная перекристаллизация металла. До 911°C устойчиво Fe_α , имеющее кубическую объемно-центрированную решетку. В интервале $911\text{-}1392^\circ\text{C}$ существует Fe_γ с кубической гранецентрированной кристаллической решеткой. При $1392\text{-}1539^\circ\text{C}$ вновь устойчиво Fe_α . Часто высокотемпературную модификацию Fe_α обозначают Fe_δ . Остановка на кривой охлаждения при 768°C связана не с полиморфным превращением, а с изменением магнитных свойств. До 768°C железо магнитно, а выше – немагнитно.

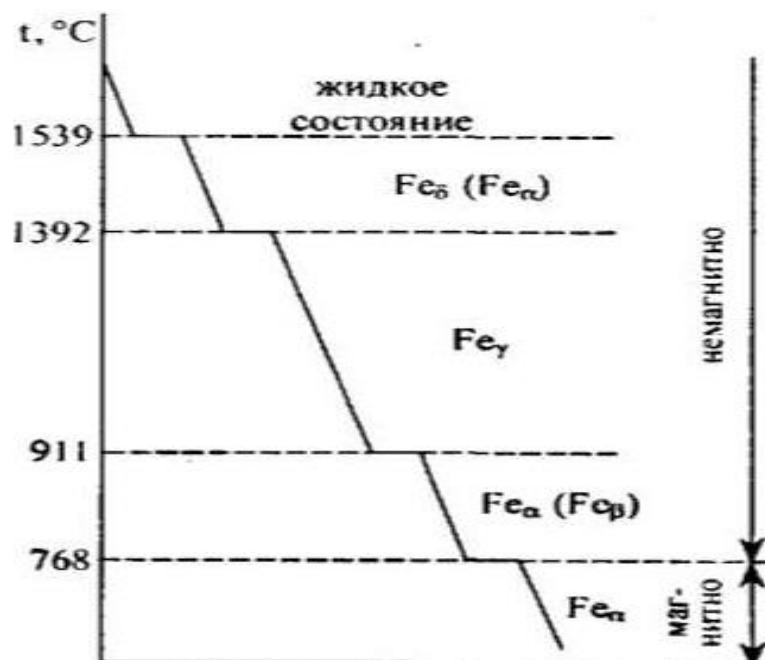


Рисунок 6.4 – Кривая охлаждения железа

Металлическим сплавом называется материал, полученный сплавлением двух или более металлов или металлов с неметаллами, обладающий металлическими свойствами. Вещества, которые образуют сплав называются **компонентами**. **Фазой** называют однородную часть сплава, характеризующуюся определенным составом и строением и отделенную от других частей сплава поверхностью раздела. Под структурой понимают форму, размер и характер взаимного расположения фаз в металлах и сплавах. Структурными составляющими называют обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение с присущими им характерными особенностями.

По характеру взаимодействия компонентов все сплавы подразделяются на три основных типа:

механические смеси, химические соединения и твердые растворы.

Механическая смесь двух компонентов А и В образуется, если они не способны к взаимодействию или взаимному растворению. Каждый компонент при этом кристаллизуется в свою кристаллическую решетку. Структура механических смесей неоднородная, состоящая из отдельных зерен компонента А и компонента В. Свойства механических смесей зависят от количественного соотношения компонентов: чем больше в сплаве данного компонента, тем ближе к его свойствам свойства смеси.

Химическое соединение образуется, когда компоненты сплава А и В вступают в химическое взаимодействие. При этом соотношение чисел атомов в соединении соответствует его химической формуле A_mB_n . Химическое соединение имеет свою кристаллическую решетку, которая отличается от кристаллических решеток компонентов. Химические соединения имеют однородную структуру, состоящую из одинаковых по составу и свойствам зерен.

При образовании *твердого раствора* атомы одного компонента входят в кристаллическую решетку другого. Твердые растворы замещения образуются в результате частичного замещения атомов кристаллической решетки одного компонента атомами второго (рис. 6.5, а). Твердые растворы внедрения образуются, когда атомы растворенного компонента внедряются в кристаллическую решетку компонента-растворителя (рис. 6.5, б).

Твердый раствор имеет однородную структуру, одну кристаллическую решетку. В отличие от химического соединения твердый раствор существует не при строго определенном соотношении компонентов, а в интервале концентраций.

Обозначают твердые растворы строчными буквами греческого алфавита $\alpha, \delta, \beta, \tau$, и т. д.

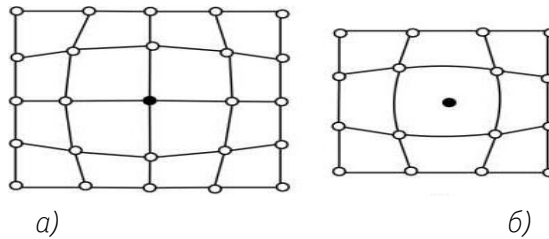


Рисунок 6.5 – Схемы точечных дефектов в кристаллах

Диаграмма состояния. Диаграмма состояния показывает строение сплава в зависимости от соотношения компонентов и от температуры. Она строится экспериментально по кривым охлаждения сплавов (рис. 6.6).

В отличие от чистых металлов сплавы кристаллизуются не при постоянной температуре, а в интервале температур. Поэтому на кривых охлаждения сплавов имеется две критические точки.

В верхней критической точке, называемой точкой *ликвидус* (t_l), начинается кристаллизация.

В нижней критической точке, которая называется точкой *солидус* (t_c), кристаллизация завершается.

Кривая охлаждения механической смеси (рис. 6.6, а) отличается от кривой охлаждения твердого раствора (рис. 6.6, б) наличием горизонтального участка. На этом участке происходит кристаллизация эвтектики.

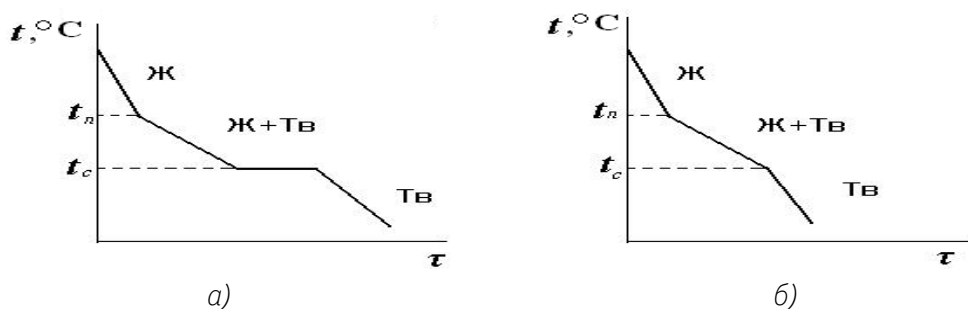


Рисунок 6.6 – Кривые охлаждения сплавов: а - механической смеси, б - твердого раствора

Эвтектикой называют механическую смесь двух фаз, одновременно кристаллизовавшихся из жидкого сплава. Эвтектика имеет определенный химический состав и образуется при постоянной температуре.

Диаграмму состояния строят в координатах температура-концентрация. Линии

диаграммы разграничивают области одинаковых фазовых состояний. Вид диаграммы зависит от того, как взаимодействуют между собой компоненты. Для построения диаграммы состояния используют большое количество кривых охлаждения для сплавов различных концентраций. При построении диаграммы критические точки переносятся с кривых охлаждения на диаграмму и соединяются линией. В получившихся на диаграмме областях записывают фазы или структурные составляющие. Линия диаграммы состояния, на которой при охлаждении начинается кристаллизация сплава называется линией ликвидус, а линия, на которой кристаллизация завершается – линией солидус.

Виды диаграмм состояния.

Диаграмма состояния сплавов, образующих механические смеси (рис. 6.7), характеризуется отсутствием растворения компонентов в твердом состоянии. Поэтому в этом сплаве возможно образование трех фаз: жидкого сплава Ж, кристаллов А и кристаллов В. Линия АСВ диаграммы является линией ликвидус: на участке АС при охлаждении начинается кристаллизация компонента А, а на участке ВЕ – компонента В. Линия DCE является линией солидус, на ней завершается кристаллизация А или В и при постоянной температуре происходит кристаллизация эвтектики Э.

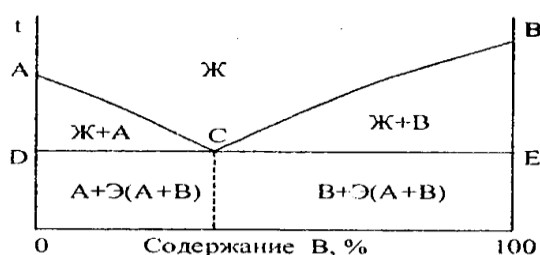


Рисунок 6.7 – Диаграмма состояния сплавов, образующих механические смеси

Сплавы, концентрация которых соответствует точке С диаграммы называются эвтектическими, их структура представляет собой чистую эвтектику. Сплавы, расположенные на диаграмме левее эвтектического, называются доэвтектическими, их структура состоит из зерен А и эвтектики. Те сплавы, которые на диаграмме расположены правее эвтектического, называются заэвтектическими, их структура представляет собой зерна В, окруженные эвтектикой.

Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии изображена на рисунке 6.8. Для этого сплава возможно образование двух фаз: жидкого сплава и твердого раствора α . На диаграмме имеется всего две линии, верхняя является линией ликвидус, а нижняя – линией солидус.

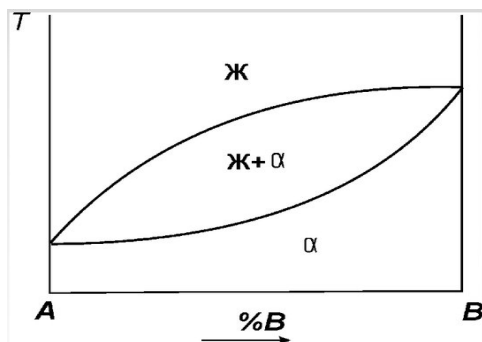


Рисунок 6.8 – Диаграмма с неограниченной растворимостью

Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии показана на рисунке 6.9. В этом сплаве могут существовать три фазы – жидкий сплав, твердый раствор α компонента В в компоненте А и твердый раствор β компонента А в компоненте В.

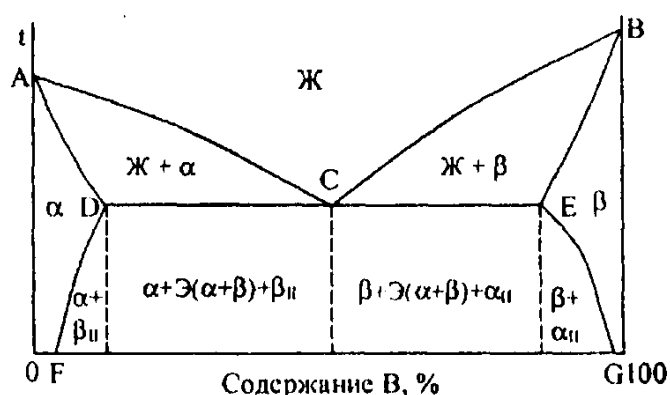


Рисунок 6.9 – Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

Данная диаграмма содержит в себе элементы двух предыдущих. Линия ACB является линией ликвидус, линия ADCEB – линией солидус. Здесь также образуется эвтектика, имеются эвтектический, доэвтектический и заэвтектический сплавы. По линиям FD и EG происходит выделение вторичных кристаллов α_{II} и β_{II} (вследствие уменьшения растворимости с понижением температуры). Процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы называется **вторичной кристаллизацией**.

Диаграмма состояния сплавов, образующих химическое соединение (рис. 6.11) характеризуется наличием вертикальной линии, соответствующей соотношению компонентов в химическом соединении A_mB_n . Эта линия делит диаграмму на две части, которые можно рассматривать как самостоятельные диаграммы сплавов, образуемых одним из компонентов с химическим соединением. На рисунке 6.10 изображена диаграмма для случая, когда каждый из компонентов образует с химическим соединением механическую смесь.

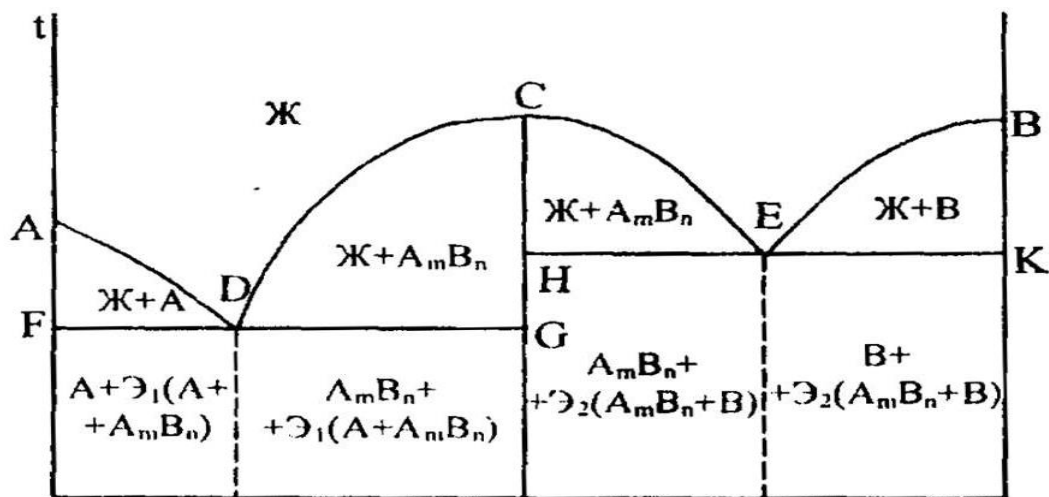


Рисунок 6.10 – Диаграмма состояния сплавов образующих химическое соединение

6.2 Диаграмма состояния «Железо-углерод»

Диаграмма состояния железуглеродистых сплавов дает представление о строении основных конструкционных сплавов – сталей и чугунов.

Компоненты, фазы и структурные составляющие сплавов железа с углеродом.

Железо – пластичный металл серебристо-белого цвета с невысокой твердостью (НВ 80). Температура плавления – 1539°C , плотность $7,83\text{ г/см}^3$. Имеет полиморфные модификации. С углеродом железо образует химическое соединение и твердые растворы.

Феррит - твердый раствор углерода в α -железе. Содержание углерода в феррите очень невелико – максимальное $0,02\%$ при температуре 727°C . Благодаря столь малому содержанию углерода свойства феррита совпадают со свойствами железа (низкая твердость и высокая пластичность). Твердый раствор углерода в высокотемпературной модификации Fe_α (т.е. в Fe_δ) часто называют δ -ферритом или высокотемпературным ферритом.

Аустенит – это твердый раствор углерода в γ -железе. Максимальное содержание углерода в аустените составляет $2,14\%$ (при температуре 1147°C). Имеет твердость НВ 220.

Цементит – это химическое соединение железа с углеродом (карбид железа) Fe_3C . В нем содержится $6,67\%$ углерода (по массе). Имеет сложную ромбическую кристаллическую решетку. Характеризуется очень высокой твердостью (НВ 800), крайне низкой пластичностью и хрупкостью.

Перлит – это механическая смесь феррита с цементитом. Содержит $0,8\%$ углерода, образуется из аустенита при температуре 727°C . Имеет пластинчатое строение, т.е. его зерна

состоят из чередующихся пластинок феррита и цементита. Перлит является эвтектоидом.

Эвтектоид – это механическая смесь двух фаз, образующаяся из твердого раствора (а не из жидкого сплава, как эвтектика).

Ледебурит представляет собой эвтектическую смесь аустенита с цементитом. Содержит 4,3 % углерода, образуется из жидкого сплава при температуре 1147° С. При температуре 727° С аустенит, входящий в состав ледебурита, превращается в перлит и ниже этой температуры ледебурит представляет собой механическую смесь перлита с цементитом.

Фаза цементита имеет пять структурных форм: цементит первичный, образующийся из жидкого сплава; цементит вторичный, образующийся из аустенита; цементит третичный, образующийся из феррита; цементит ледебурита; цементит перлита.

На рисунке 6.11 приведена диаграмма состояния сплавов железа с цементитом. На горизонтальной оси концентраций отложено содержание углерода от 0 до 6,67 %. Левая вертикальная ось соответствует 100 % содержанию железа. На ней отложены температура плавления железа и температуры его полиморфных превращений. Правая вертикальная ось (6,67 % углерода) соответствует 100 % содержанию цементита. Буквенное обозначение точек диаграммы принято согласно международному стандарту и изменению не подлежит

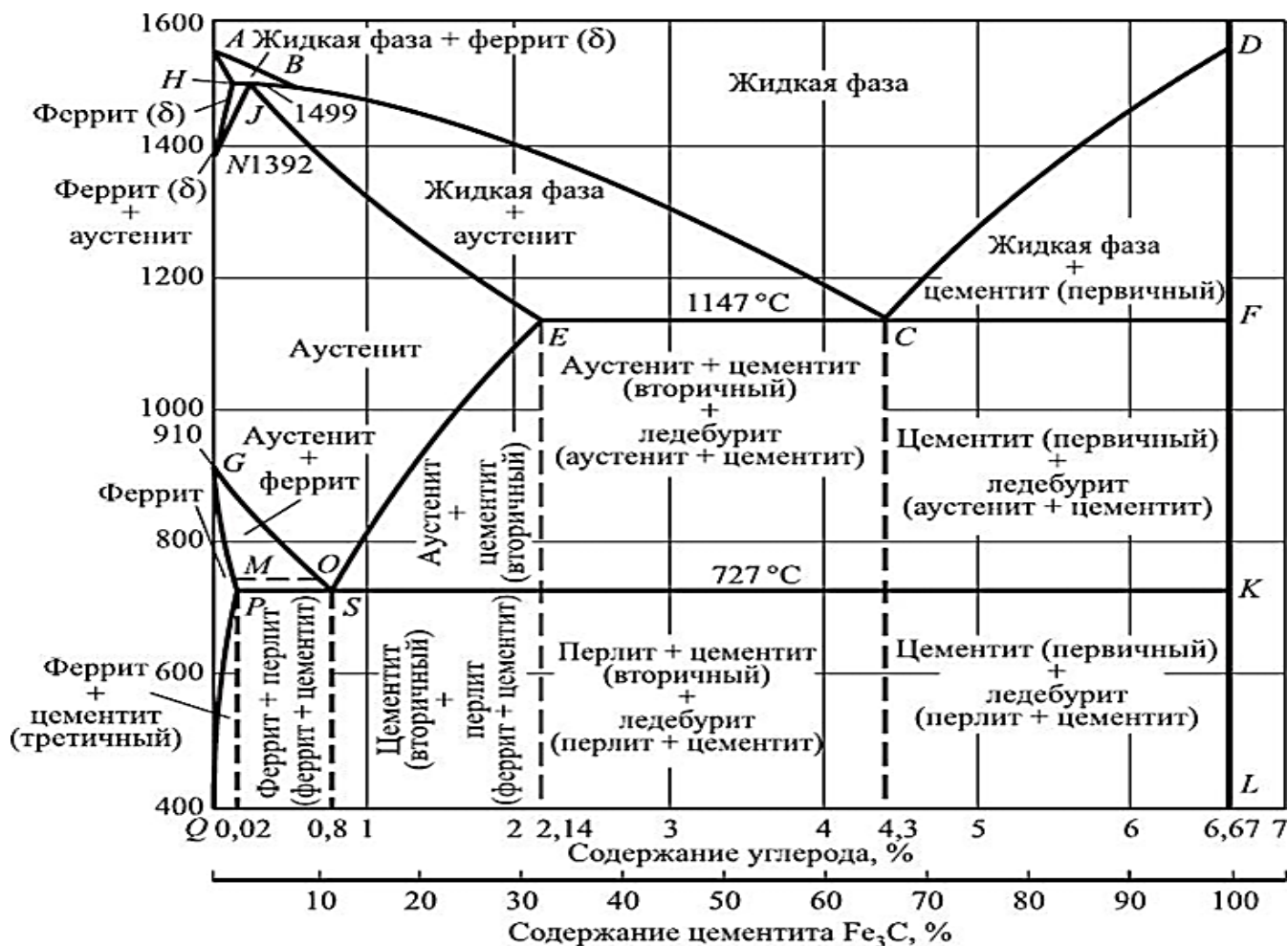


Рисунок 6.11 – Диаграмма состояния железо-углерод

Железоуглеродистые сплавы в зависимости от содержания углерода делятся на техническое железо

(до 0,02% C), сталь (от 0,02 до 2,14 % C) и чугун (от 2,14 до 6,67% C).

Сталь, содержащая до 0,8% C, называется доэвтектоидной, 0,8% C – эвтектоидной и свыше 0,8% C – заэвтектоидной.

Чугун, содержащий от 2,14 до 4,3% C, называется доэвтектическим, ровно 4,3% – эвтектическим и от 4,3 до 6,67% C – заэвтектическим.

Структура технического железа представляет собой зерна феррита или феррит с небольшим количеством третичного цементита. Обязательной структурной составляющей стали является перлит. Структура доэвтектоидной стали, состоит из равномерно распределенных зерен феррита и перлита. Эвтектоидная сталь состоит только из перлита. Структура заэвтектоидной стали представляет собой зерна перлита, окруженные сплошной или прерывистой сеткой вторичного цементита. Для чугуна характерно наличие ледебурита в структуре. Структура доэвтектического чугуна состоит из перлита, вторичного цементита и ледебурита, эвтектической – из ледебурита и заэвтектического – из ледебурита и первичного цементита.

Значение диаграммы железо-цементит состоит в том, что она позволяет объяснить зависимость структуры и свойств сталей и чугунов от содержания углерода и определить режимы термической обработки для изменения свойств сталей.

Сталью называется сплав железа с углеродом, в котором углерода содержится не более 2,14%. Это теоретическое определение. На практике в сталях, как правило, не содержится углерода более 1,5%.

Влияние углерода и примесей на свойства стали.

Углерод существенно влияет на свойства стали даже при незначительном изменении его содержания. В стали имеются две фазы – феррит и цементит (частично в виде перлита). Количество цементита возрастает прямо пропорционально содержанию углерода. Как уже говорилось, феррит характеризуется высокой пластичностью и низкой твердостью, а цементит, напротив, очень низкой пластичностью и высокой твердостью. Поэтому с повышением содержания углерода до 1,2% снижаются пластичность и вязкость стали и повышаются твердость и прочность.

Повышение содержания углерода влияет и на технологические свойства стали. Ковкость, свариваемость и обрабатываемость резанием ухудшаются, но литейные свойства улучшаются.

Кроме железа и углерода в стали всегда присутствуют постоянные примеси. Наличие примесей объясняется технологическими особенностями производства стали (марганец, кремний) и невозможностью полного удаления примесей, попавших в сталь из железной руды (сера, фосфор, кислород, водород, азот). Возможны также случайные примеси (хром, никель, медь и др.).

Марганец и кремний вводят в любую сталь для раскисления, т.е. для удаления вредных примесей оксида железа FeO. Марганец также устраняет вредные сернистые соединения железа. При этом содержание марганца обычно не превышает 0,8%, а кремния – 0,4%. Марганец повышает прочность, а кремний упругость стали.

Фосфор растворяется в феррите, сильно искажает кристаллическую решетку, снижая при этом пластичность и вязкость, но повышая прочность. Вредное влияние фосфора заключается в том, что он сильно повышает температуру перехода стали в хрупкое состояние, т.е. вызывает ее хладноломкость. Вредность фосфора усугубляется тем, что он может распределяться в стали неравномерно. Поэтому содержания фосфора в стали ограничивается величиной 0,045%.

Сера также является вредной примесью. Она нерастворима в железе и образует с ним сульфид железа FeS, который образует с железом легкоплавкую эвтектику. Эвтектика располагается по границам зерен и делает сталь хрупкой при высоких температурах. Это явление называется **красноломкостью**. Количество серы в стали ограничивается 0,05%.

Водород, азот и кислород содержатся в стали в небольших количествах. Они являются вредными примесями, ухудшающими свойства стали.

Классификация сталей.

По химическому составу стали могут быть углеродистыми, содержащими железо, углерод и примеси и легированными, содержащими дополнительно легирующие элементы, введенные в сталь с целью изменения ее свойств.

По содержанию углерода стали делятся на низкоуглеродистые (до 0,25% С), среднеуглеродистые (0,25–0,7% С) и высокоуглеродистые (более 0,7% С).

По назначению различают стали конструкционные, идущие на изготовление деталей машин, конструкций и сооружений, инструментальные, идущие на изготовление различного инструмента, а также стали специального назначения с особыми свойствами: нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, с особыми электрическими и магнитными свойствами и др.

По показателям качества стали классифицируются на обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные. Качество стали характеризуется совокупностью свойств, определяемых процессом производства, химическим составом, содержанием газов и вредных примесей (серы и фосфора). В соответствии с ГОСТом стали обыкновенного качества должны содержать не более 0,045% Р и 0,05% S, качественные – не более 0,035% Р и 0,04% S, высококачественные – не более 0,025% Р и 0,025% S и особовысококачественные – не более 0,025% Р и 0,015% S. Углеродистые конструкционные стали могут быть только обыкновенного качества и качественными.

Углеродистые стали обыкновенного качества в зависимости от назначения и гарантируемых свойств делятся на три группы: А, Б и В.

Стали группы А имеют гарантируемые механические свойства. Они используются в состоянии поставки без горячей обработки или сварки. Эти стали маркируются буквами Ст и цифрами, обозначающими порядковый номер марки. Выпускается семь марок сталей группы А: Ст0, Ст1, Ст2, ..., Ст6. Чем выше номер марки, тем больше содержание углерода и, соответственно, выше прочность и ниже пластичность.

Стали группы Б имеют гарантируемый химический состав. Эти стали подвергаются горячей обработке. При этом их механические свойства не сохраняются, а химический состав важен для определения режима обработки. Маркируются они так же, как стали группы А, но перед буквами Ст ставится буква Б. Чем выше номер марки, тем больше содержание в стали углерода, марганца и кремния.

Стали группы В имеют гарантируемые механические свойства и химический состав. Эти стали используются для сварки, так как для выбора режима сварки надо знать химический состав, а механические свойства частей изделий, не подвергшихся тепловому воздействию, остаются без изменений. В марках сталей этой группы на первое место ставится буква В. При этом механические свойства соответствуют свойствам аналогичной марки из группы А, а химический состав – составу аналогичной марки из группы Б.

Качественные конструкционные углеродистые стали маркируются цифрами 08, 10, 15, 20, 25, 85, которые обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Эти стали отличаются от сталей обыкновенного качества большей прочностью, пластичностью и ударной вязкостью. Если для сталей обыкновенного качества максимальная прочность составляет 700 МПа, то для качественной она достигает 1100 МПа.

Чугуном называют сплав железа с углеродом, содержащий от 2,14 до 6,67% углерода. Но это теоретическое определение. На практике содержание углерода в чугунах находится в пределах 2,5-4,5%. В качестве примесей чугун содержит Si, Mn, S и P.

Классификация чугунов.

В зависимости от того, в какой форме содержится углерод в чугунах, различают следующие их виды. В белом чугуне весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Структура белого чугуна соответствует диаграмме Fe-Fe₃C. В сером чугуне большая часть углерода находится в виде графита, включения которого имеют пластинчатую форму. В высокопрочном чугуне графитные включения имеют шаровидную форму, а в ковком – хлопьевидную. Содержание углерода в виде цементита в сером, высокопрочном и ковком чугунах может составлять не более 0,8%.

Белый чугун обладает высокой твердостью, хрупкостью и очень плохо обрабатывается. Поэтому для изготовления изделий он не используется и применяется как передельный чугун, т.е. идет на производство стали. Для деталей с высокой износостойкостью используется чугун с отбеленной поверхностью, в котором основная масса металла имеет структуру серого чугуна, а поверхностный слой – белого чугуна. Машиностроительными чугунами, идущими на изготовление деталей, являются серый, высокопрочный и ковкий чугуны. Детали из них изготавливаются литьем, так как чугуны имеют очень хорошие литейные свойства. Благодаря графитным включениям эти чугуны хорошо обрабатываются, имеют высокую износостойкость, гасят колебания и вибрации. Но графитные включения уменьшают прочность.

Серый чугун имеет пластинчатые графитные включения. Получают серый чугун путем

первичной кристаллизации из жидкого сплава.

На **графитизацию** (процесс выделения графита) влияют скорость охлаждения и химический состав чугуна. При быстром охлаждении графитизации не происходит и получается белый чугун. По мере уменьшения скорости охлаждения получают, соответственно, перлитный, феррито-перлитный и ферритный серые чугуны. Способствуют графитизации углерод и кремний. Кремния содержится в чугуне от 0,5 до 5%. Иногда его вводят специально. Марганец и сера препятствуют графитизации. Кроме того, сера ухудшает механические и литейные свойства. Фосфор не влияет на графитизацию, но улучшает литейные свойства.

Механические свойства серого чугуна зависят от количества и размера графитных включений. По сравнению с металлической основой графит имеет низкую прочность. Поэтому графитные включения можно считать нарушениями сплошности, ослабляющими металлическую основу. Так как пластинчатые включения наиболее сильно ослабляют металлическую основу, серый чугун имеет наиболее низкие характеристики, как прочности, так и пластичности среди всех машиностроительных чугунов. Уменьшение размера графитных включений улучшает механические свойства. Измельчению графитных включений способствует кремний.

Маркируется серый чугун буквами СЧ и числом, показывающим предел прочности в десятых долях МПа. Имеются следующие марки серых чугунов: СЧ 10, СЧ 15, СЧ 20, СЧ 45.

Высокопрочный чугун имеет шаровидные графитные включения. Получают высокопрочный чугун добавкой в жидкий чугун небольшого количества щелочных или щелочноземельных металлов, которые округляют графитные включения в чугуне, что объясняется увеличением поверхностного натяжения графита. Чаще всего для этой цели применяют магний в количестве 0,03-0,07%. По содержанию других элементов высокопрочный чугун не отличается от серого.

Шаровидные графитные включения в наименьшей степени ослабляют металлическую основу. Именно поэтому высокопрочный чугун имеет более высокие механические свойства, чем серый. При этом он сохраняет хорошие литейные свойства, обрабатываемость резанием, способность гасить вибрации и т.д.

Маркируется высокопрочный чугун буквами ВЧ и цифрами, показывающими предел прочности в десятых долях МПа. Например, чугун ВЧ 60 имеет $\sigma_B = 600$ МПа. Существуют следующие марки высокопрочных чугунов: ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ-50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 50, ВЧ 100. Применяются высокопрочные чугуны для изготовления ответственных деталей – зубчатых колес, валов и др.

Ковкий чугун имеет хлопьевидные графитные включения. Его получают из белого чугуна путем графитизирующего отжига, который заключается в длительной (до 2 суток) выдержке при температуре 950-970° С. Если после этого чугун охладить, то получается ковкий перлитный чугун, металлическая основа которого состоит из перлита и небольшого количества (до 20%) феррита. Такой чугун называют также светлосердечным. Если в области эвтектоидного превращения (720-

760° С) проводить очень медленное охлаждение или даже дать выдержку, то получится ковкий ферритный чугун, металлическая основа которого состоит из феррита и очень небольшого количества перлита (до 10%). Этот чугун называют черносердечным, так как он содержит сравнительно много графита.

Маркируется ковкий чугун буквами КЧ и двумя числами, показывающими предел прочности в десятых долях МПа и относительное удлинение в %.

Так, чугун КЧ 45-7 имеет $\sigma_b=450$ МПа и $\delta=7\%$. Ферритные ковкие чугуны (КЧ 33-8, КЧ 37-12) имеют более высокую пластичность, а перлитные (КЧ 50-4, КЧ 60-3) более высокую прочность. Применяют ковкий чугун для деталей небольшого сечения, работающих при ударных и вибрационных нагрузках.

Легированной называют сталь, содержащую специально введенные в нее с целью изменения строения и свойств легирующие элементы.

Легированные стали имеют целый ряд преимуществ перед углеродистыми. Они имеют более высокие механические свойства, прежде всего, прочность. Легированные стали обеспечивают большую прокаливаемость, а также возможность получения структуры мартенсита при закалке в масле, что уменьшает опасность появления трещин и коробления деталей. С помощью легирования можно придать стали различные специальные свойства (коррозионную стойкость, жаростойкость, жаропрочность, износостойкость, магнитные и электрические свойства).

Маркируются легированные стали с помощью цифр и букв, указывающих примерный химический состав стали. Первые цифры в марке показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Далее показывается содержание легирующих элементов. Каждый элемент обозначается своей буквой: Н – никель, Г – марганец, Ц – цирконий, Т – титан, Х – хром, Д – медь, С – кремний, А – азот, К – кобальт, Р – бор, П – фосфор, Ф – ванадий, М – молибден, Б – ниобий, В – вольфрам, Ю – алюминий. Цифры, идущие после буквы, указывают примерное содержание данного легирующего элемента в процентах. При содержании элемента менее 1% цифра отсутствует. Например, сталь 12Х18Н10Т содержит приблизительно 0,12% углерода, 18% хрома, 10% никеля, менее 1% титана. Для некоторых групп сталей применяют другую маркировку, которая будет указана при рассмотрении этих сталей.

Конструкционные стали идут на изготовление деталей машин, конструкций и сооружений. Они должны обеспечивать длительную и надежную работу деталей и конструкций в условиях эксплуатации. Поэтому основное требование к конструкционным сталям – комплекс высоких механических свойств

Строительные стали содержат малые количества углерода (0,1-0,3%). Это объясняется тем, что детали строительных конструкций обычно соединяются сваркой. Низкое содержание углерода обеспечивает хорошую свариваемость. В качестве строительных используются углеродистые стали Ст2 и Ст3, имеющие предел текучести $\sigma_T=240$ МПа. В низколегированных

строительных сталях при содержании около 1,5% Mn и 0,7% Si предел текучести увеличивается до 360 МПа.

К этим сталям относятся 14Г2, 17ГС, 14ХГС. Дополнительное легирование небольшими количествами ванадия и ниобия (до 0,1%) повышает предел текучести до 450 МПа за счет уменьшения величины зерна. К сталям такого типа относятся 14Г2АФ, 17Г2АФБ.

Цементуемые стали содержат 0,1-0,3% углерода. Они подвергаются цементации, закалке и низкому отпуску. После этой обработки твердость поверхности составляет HRC 60, а сердцевины HRC 15-40. Упрочнение сердцевины в этих сталях тем сильнее, чем больше содержание легирующих элементов. В зависимости от степени упрочнения сердцевины цементуемые стали можно разделить на три группы.

К сталям с неупрочняемой сердцевиной относятся углеродистые цементуемые стали 10, 15, 20. Их сердцевина имеет феррито-перлитную структуру. Эти стали имеют высокую износостойкость, но малую прочность ($\sigma_B = 400-500$ МПа). Поэтому они применяются для малоответственных деталей небольших размеров.

К сталям со слабо упрочняемой сердцевиной относятся низколегированные стали 15Х, 15ХР, 20ХН и др. Сердцевина имеет структуру бейнит. Эти стали имеют повышенную прочность ($\sigma_B = 750-850$ МПа).

К сталям с сильно упрочняемой сердцевиной относятся стали 20ХГР, 18ХГТ, 30ХГТ, 12ХНЗ, 18Х2Н4В и др. Сердцевина имеет мартенситную структуру. Стали этой группы имеют высокую прочность ($\sigma_B = 1200-1600$ МПа) и применяются для крупных деталей, испытывающих значительные нагрузки.

Улучшаемые стали содержат 0,3-0,5% углерода и небольшое количество легирующих элементов (до 3-5%). Эти стали подвергаются улучшению, состоящему из закалки в масле и высокого отпуска. После термообработки имеют структуру сорбита. Механические свойства разных марок улучшаемой стали в случае сквозной прокаливаемости близки ($\sigma_B = 900-1200$ МПа). Поэтому прокаливаемость определяет выбор стали. Чем больше легирующих элементов, тем выше прокаливаемость. Следовательно, чем больше сечение детали, тем более легированную сталь следует использовать.

По прокаливаемости улучшаемые стали могут быть условно разбиты на пять групп:

- 1) В первую группу входят углеродистые стали 35, 40, 45. Эти стали подвергаются нормализации вместо улучшения.
- 2) Ко второй группе относятся стали, легированные хромом 30Х, 40Х.
- 3) Третью группу составляют хромистые стали, дополнительно легированные еще одним-двумя элементами (кроме никеля) 30ХМ, 40ХГ, 30ХГС и др.
- 4) Четвертая группа представлена хромоникелевыми сталями, содержащими около 1% никеля: 40ХН, 40ХНМ и др.
- 5) В пятую группу входят стали, легированные рядом элементов, причем содержание никеля доходит до 3-4%: 38ХНЗ, 38ХНЗМФ. Это лучшие марки улучшаемых сталей, хотя они сравнительно дороги.

Высокопрочные стали. Новейшая техника предъявляет высокие требования к прочности стали ($\sigma_B=1500-2500$ МПа). Этим требованиям соответствуют мартенситностареющие стали, сочетающие высокую прочность с достаточной вязкостью и пластичностью. Они представляют собой практически безуглеродистые (до 0,03% С) сплавы железа с никелем (17-26% Ni), дополнительно легированные титаном, алюминием, молибденом, ниобием и кобальтом. Высокую прочность мартенситностареющие стали получают в результате старения.

Мартенситностареющие стали применяют в авиационной промышленности, в ракетной технике, судостроении и т.д. Они обладают хорошей свариваемостью и обрабатываемостью. Эти стали являются достаточно дорогостоящими.

Пружинные стали. В пружинах и рессорах используются только упругие свойства стали. Возникновение пластической деформации в них недопустимо, поэтому высоких требований к пластичности и вязкости не предъявляется. Основное требование к пружинной стали – высокий предел упругости σ_u . Хорошие упругие свойства стали достигаются при повышенном содержании углерода (0,5-0,7%) и применении термообработки, состоящей из закалки и среднего отпуска при температуре 350-450° С. После такой термообработки сталь имеет троститную структуру.

Углеродистые пружинные стали (65, 70, 75) вследствие низкой прокаливаемости используются для пружин небольшого сечения. Они могут работать при температуре до 100° С. Стали, легированные кремнием и марганцем (60С2, 60СГ и др.) предназначены для больших по размеру упругих элементов и обеспечивают их длительную и надежную работу. Для ответственных пружин применяют высококачественные стали, легированные хромом и ванадием (50ХФА, 50ХГФА). Эти стали могут работать при температуре до 300° С. Из них изготавливают, например, рессоры легковых автомобилей.

Износостойкие стали.

Изнашивание – это процесс постепенного разрушения поверхностных слоев трущихся деталей, который приводит к уменьшению их размеров (износу). Износостойкие стали можно разделить на три группы.

В первую группу входят стали, износостойкость которых достигается высокой твердостью поверхности. Они подвергаются закалке и низкому отпуску или химико-термической обработке. Имеют структуру мартенсита или мартенсита с карбидными включениями. К этой группе относятся подшипниковые стали, из которых изготавливаются шарики и ролики подшипников качения. Они маркируются буквами ШХ и цифрой показывающей содержание хрома в десятых долях процента, содержат также марганец и кремний (ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ). Содержание углерода в них около 1%.

Ко второй группе относятся стали, износостойкость которых достигается смазывающим действием графита. Эти стали имеют в структуре графитные включения, которые в процессе изнашивания выходят на поверхность и выполняют роль сухой смазки. Эти стали имеют высокое содержание углерода (1,5%) и кремния (1%), что повышает способность к графитизации. Эти стали

подвергаются графитизирующему отжигу, который аналогичен отжигу ковкого чугуна.

Третью группу составляют стали износостойкость которых достигается повышенной склонностью к наклепу. Это, прежде всего, сталь 110Г13. Она имеет невысокую твердость, которая при действии давления и ударов резко повышается, за счет чего и достигается износостойкость. Эта сталь подвергается закалке от 1100° С в воде, после чего получает аустенитную структуру. Плохо обрабатывается резанием, поэтому применяется в литом состоянии.

Коррозионностойкие (нержавеющие) стали. Коррозией называется разрушение металла под действием внешней агрессивной среды в результате ее химического или электрохимического воздействия. Различают химическую коррозию, обусловленную воздействием на металл сухих газов и неэлектролитов (например, нефтепродуктов) и электрохимическую, возникающую под действием жидких электролитов или влажного воздуха.

Самый надежный способ защиты от коррозии – применение коррозионностойких сталей. Коррозионная стойкость достигается при введении в сталь элементов, образующих на ее поверхности тонкие и прочные оксидные пленки. Наилучший из этих элементов – хром. При введении в сталь 12-14% хрома она становится устойчивой против коррозии в атмосфере, воде, ряде кислот, щелочей и солей. Стали, содержащие меньшее количество хрома, подвержены коррозии точно так же, как и углеродистые стали. В технике применяют хромистые и хромоникелевые коррозионностойкие стали.

Хромистые коррозионностойкие стали могут содержать 13, 17 или 25-27% хрома. Хромоникелевые стали обычно содержат 18% хрома и 9-12% никеля (04Х18Н10, 12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т и др.). Они имеют более высокую коррозионную стойкость по сравнению с хромистыми сталями, лучшие механические свойства, хорошо свариваются.

Жаростойкие и жаропрочные стали. Под жаростойкими сталями понимают стали, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности при высокой температуре (свыше 550° С). При нагреве стали происходит окисление поверхности и образуется оксидная пленка (окалина). Дальнейшее окисление определяется скоростью проникновения атомов кислорода через эту пленку. Через пленку оксидов железа они проникают очень легко. Для повышения жаростойкости сталь легируют элементами, образующими плотную пленку, через которую атомы кислорода не проникают. Эти элементы – хром, алюминий, кремний. Так как алюминий и кремний повышают хрупкость стали, чаще всего применяют хром. Чем больше его содержание, тем более жаропрочной является сталь.

Жаропрочные материалы способны противостоять механическим нагрузкам при высоких температурах.

Жаропрочные стали классифицируются по структуре:

Перлитные стали содержат малое количество углерода, легируются хромом молибденом, ванадием (12ХМ, 12Х1МФ). Используют для изготовления труб, паропроводов и др. деталей, длительно работающих при температуре 500-550° С.

Мартенситные стали в большом количестве легированы хромом (15Х11МФ, 15Х12ВНМФ). Они используются для деталей энергетического оборудования, длительно работающего при

температуре 600-620° С. Особую группу мартенситных сталей составляют силхромы, применяемые для клапанов двигателей внутреннего сгорания. Они дополнительно легированы кремнием (40Х9С2, 40Х10С2М).

Аустенитные стали легированы большим количеством хрома и никеля, а также другими элементами (09Х14Н16Б, 09Х14Н19В2БР). Из этих сталей изготавливают детали газовых турбин, работающих при температуре 600-700° С.

Для работы при более высоких температурах (700-900°С) служат сплавы на основе никеля, называемые нимониками. Примером нимоника является сплав ХН77ТЮР, содержащий кроме никеля приблизительно 20% Cr, 2,5% Ti, 1% Al.

Для работы при температурах свыше 1000°С используют тугоплавкие металлы и их сплавы. Это – хром, ниобий, молибден, тантал, вольфрам. Они используются в атомной энергетике и в космической технике.

Температуры 1500-1700°С выдерживают жаропрочные керамические материалы на основе карбида и нитрида кремния.

По назначению *инструментальные* стали делятся на стали для режущего, измерительного и штампового инструмента. Кроме сталей, для изготовления режущего инструмента применяются металлокерамические твердые сплавы и минералокерамические материалы. Режущий инструмент работает в сложных условиях, подвержен интенсивному износу, при работе часто разогревается. Поэтому материал для изготовления режущего инструмента должен обладать высокой твердостью, износостойкостью и теплостойкостью. **Теплостойкость** – это способность сохранять высокую твердость и режущие свойства при длительном нагреве.

Углеродистые инструментальные стали содержат 0,7-1,3% углерода. Они маркируются буквой У и цифрой, показывающей содержание углерода в десятых долях процента (У7, У8, У9, У13). Буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная (У7А, У8А, У13А). Предварительная термообработка этих сталей – отжиг на зернистый перлит, окончательная – закалка в воде или растворе соли и низкий отпуск. После этого структура стали представляет собой мартенсит с включениями зернистого цементита. Твердость лежит в интервале HRC 56-64.

Низколегированные инструментальные стали содержат в сумме около 1-3% легирующих элементов. Они обладают повышенной по сравнению с углеродистыми сталями прокаливаемостью, но теплостойкость их невелика – до 400° С. Основные легирующие элементы – хром, кремний, вольфрам, ванадий.

Маркируются эти стали так же, как конструкционные, но содержание углерода дается в десятых долях процента. Если первая цифра в марке отсутствует, то содержание углерода превышает 1%. Например 9ХС, ХВГ, ХВ5.

Термообработка низколегированных инструментальных сталей – закалка в масле и отпуск при температуре 150-200° С. При этом обычно достигается сквозная прокаливаемость. Твердость после термообработки составляет HRC 62-64.

Быстрорежущие стали предназначены для работы при высоких скоростях резания. Главное их достоинство – высокая теплостойкость (до 650° С). Это достигается за счет большого

количества легирующих элементов – вольфрама, хрома, молибдена, ванадия, кобальта. Маркируются быстрорежущие стали буквой Р, число после которой показывает среднее содержание вольфрама в %. Далее идут обозначения и содержание других легирующих элементов. Содержание углерода во всех быстрорежущих сталях приблизительно 1 %, а хрома 4%. Поэтому эти элементы в марке не указываются. Например, Р18, Р9, Р6М5, Р6М5Ф2К8.

Термообработка быстрорежущих сталей заключается закалке от высоких температур (1200-1300° С) и трехкратном отпуске при 550-570° С. Трехкратный отпуск применяется для того, чтобы избавиться от остаточного аустенита, который присутствует после закалки в количестве приблизительно 30% и снижает режущие свойства. После термообработки сталь имеет мартенситную структуру с карбидными включениями. Твердость после термообработки составляет HRC 64-65.

Металлокерамические твердые сплавы представляют собой спеченные порошковые материалы, основой которых служат карбиды тугоплавких металлов, а связующим – кобальт. Их теплостойкость доходит до 900-1000° С, а твердость HRA 80-97.

Твердые сплавы делятся на три группы. Вольфрамовые изготавливаются на основе карбида вольфрама и кобальта. Маркируются буквами ВК и цифрой показывающей содержание кобальта в % (ВК2, ВК6, ВК10). Титановольфрамовые твердые сплавы содержат дополнительно карбид титана. Они маркируются буквами Т, К и цифрами. После буквы Т указывается содержание карбида титана в %, а после буквы К – кобальта (Т15К10, Т15К6). Титанотанталовольфрамовые содержат дополнительно карбид титана. Маркируются буквами ТТ, после которых указывается суммарное содержание карбидов титана и тантала в % и буквой К, после которой указывается содержание кобальта (ТТ7К12, ТТ10К8).

Твердые сплавы изготавливаются в виде пластин, которые припаиваются к державке из углеродистой стали. Применяют твердые сплавы для резцов, сверл, фрез и другого инструмента. Главный недостаток твердых сплавов – высокая хрупкость.

6.3 Свариваемость сталей

Свариваемостью называется свойство металла (или другого материала) образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Свариваемость различных металлов и их сплавов существенно отличается.

Степень свариваемости оценивают изменением свойств сварного соединения по отношению к основному металлу. Степень свариваемости сплава тем выше, чем больше способов сварки и режимов при каждом способе можно применить. Примером хорошей свариваемости является малоуглеродистая сталь.

Под технологической свариваемостью понимают отношение металла к конкретному способу сварки и режиму.

Влияние элементов, содержащихся в сталях, на их свариваемость

Углерод. Малоуглеродистые стали хорошо свариваются всеми видами сварки. С увеличением содержания углерода в стали повышается твердость и снижается пластичность. Металл в сварном соединении закаливается, и образуются трещины. В результате интенсивного окисления углерода при сварке образуется значительное количество газовых пор.

Марганец. В количестве 0,3-0,8 % марганец не ухудшает свариваемость стали. Является хорошим раскислителем и способствует уменьшению содержания кислорода в стали. При содержании марганца 1,5-2,5 % свариваемость ухудшается и возможно появление трещин из-за увеличения твердости стали и образования закалочных структур.

Кремний. Содержание кремния в углеродистых сталях незначительно (0,03-0,35 %). Кремний вводят как раскислитель, и при содержании до 1 % он не влияет на свариваемость. С увеличением содержания кремния более 1 % свариваемость ухудшается, так как образуются тугоплавкие окислы, которые приводят к появлению шлаковых включений. Металл сварного шва имеет повышенные прочность, твердость и хрупкость.

Молибден. В теплоустойчивых сталях содержание молибдена составляет 0,2-0,8 %, а в специальных сталях, предназначенных для работы при высоких температурах, увеличивается до 2-3 %. Молибден значительно повышает прочность и ударную вязкость стали, но вызывает склонность к образованию трещин, как в самом шве, так и в переходной зоне.

Хром. В углеродистых сталях содержание хрома не превышает 0,25 % и в таком количестве его влияние на свариваемость не значительно. Конструкционные стали типа 15Х, 20Х, 30Х, 40Х содержат от 0,7 до 1,1 % хрома. При таком содержании хрома твердость увеличивается, а свариваемость ухудшается, особенно с увеличением содержания углерода. Стали, содержащие значительное количество хрома (Х5, 1Х13, Х17) имеют самую плохую свариваемость. При сварке образуются тугоплавкие окислы, снижается химическая стойкость стали и образуются закалочные структуры.

Никель. Никель повышает прочность и пластичность металла сварного соединения и не ухудшает свариваемость.

Ванадий. Ванадий повышает прочность сталей. Содержание его в инструментальных и штамповых сталях достигает 1,5 %. Ванадий ухудшает свариваемость, так как способен сильно окисляться и при сварке необходимо вводить в зону плавления активные раскислители.

Вольфрам. Содержание вольфрама в специальных (инструментальных и штамповых) сталях составляет до 2 %. Стали с содержанием вольфрама имеют значительную твердость и прочность при высоких температурах. Вольфрам ухудшает свариваемость, сильно окисляется и поэтому сварка требует особых приемов.

Титан и ниобий. Титан и ниобий улучшают свариваемость стали. При сварке высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей углерод взаимодействует с хромом и образуются карбиды хрома. Это приводит к уменьшению содержания хрома по границам зерен, образованию межкристаллитной коррозии и разрушению сварных швов. При введении в стали титана или ниобия в количестве 0,5-1 % происходит их взаимодействие с углеродом, что препятствует образованию карбидов хрома.

Медь. В сталях, используемых для ответственных конструкций, содержание меди составляет 0,3-0,8 %. Медь улучшает свариваемость, повышает прочность, пластические свойства, ударную вязкость и коррозионную стойкость сталей.

Сера. Повышенное содержание серы приводит при сварке к образованию горячих трещин. Наибольшее допустимое содержание серы до 0,06 %.

Фосфор. Повышенное содержание фосфора ухудшает свариваемость, так как вызывает при сварке появление холодных трещин. Допускается содержание фосфора в углеродистых сталях не более 0,08 %.

Кислород. Кислород ухудшает свариваемость стали, снижая ее механические свойства – прочность, пластичность, ударную вязкость.

Азот. Азот из окружающего воздуха при охлаждении сварочной ванны образует нитриды железа, которые повышают прочность и твердость стали и значительно снижают пластичность.

Водород. Водород попадает в сварочную ванну из влаги и коррозии на поверхности металла, скапливается в отдельных местах сварного шва, образует газовые пузырьки, вызывает появление пористости и мелких трещин.

Классификация сталей по свариваемости

Свариваемость сталей оценивается такими признаками как склонность к образованию трещин и механические свойства сварного соединения.

Количественной характеристикой свариваемости стали является эквивалентное содержание углерода $C_{эк}$, которое определяют по формуле:

$$C_{эк} = C + (Mn/6) + [(Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15],$$

где C – содержание углерода, %;

Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu – содержание легирующих элементов (марганец, хром, молибден, ванадий, никель, медь), %.

Наибольшее влияние на свариваемость стали оказывает количество содержащегося в ней углерода и легирующих компонентов.

Стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо сваривающиеся стали, удовлетворительно сваривающиеся, ограниченно сваривающиеся и плохо сваривающиеся стали.

К первой группе относятся стали, сварку которых выполняют по обычной технологии без подогрева ($C_{эк}$ до 0,25). Возможно применение термообработки для снятия внутренних напряжений.

Ко второй группе относятся стали, у которых при сварке в нормальных условиях, как правило, трещин не образуется ($C_{эк}$ свыше 0,25 и до 0,35). Для сварки сталей этой группы имеются ограничения по толщине свариваемого изделия и температуре окружающей среды.

К третьей группе относятся стали, склонные в обычных условиях сварки к образованию трещин ($C_{эк}$ свыше 0,35 и до 0,45). При сварке их предварительно подвергают термообработке и подогревают. Кроме того, большинство сталей, входящих в эту группу, подвергают термообработке после сварки.

К четвертой группе относятся стали, наиболее трудно поддающиеся сварке и склонные к образованию трещин ($C_{эк}$ свыше 0,45). Эти стали свариваются ограниченно, поэтому сварку их выполняют с обязательной предварительной термообработкой, с подогревом в процессе сварки и последующей термообработкой.

6.4 Полимерные материалы

Пластмассы – это материалы, получаемые на основе природных или синтетических полимеров. Пластмассы являются важнейшими современными конструкционными материалами. Они обладают рядом ценных свойств: малой плотностью (до 2 г/см³), высокой удельной прочностью, низкой теплопроводностью, химической стойкостью, хорошими

электроизоляционными свойствами, звукоизоляционными свойствами. Некоторые пластмассы обладают оптической прозрачностью, фрикционными и антифрикционными свойствами, стойкостью к истиранию и др. Кроме того, пластмассы имеют хорошие технологические свойства: легко формуются, прессуются, обрабатываются резанием, их можно склеивать и сваривать. Недостатками пластмасс являются низкая теплостойкость, низкая ударная вязкость, склонность к старению для ряда пластмасс.

Основой пластмасс являются полимерные связующие вещества. Кроме связующих в состав пластмасс входят: наполнители для повышения прочности и придания специальных свойств; мистификаторы для повышения пластичности, что необходимо при изготовлении изделий из пластмасс; отвердители, ускоряющие переход пластмасс в неплавкое, твердое и нерастворимое состояние; стабилизаторы, предотвращающие или замедляющие процесс старения; красители.

По поведению при нагреве все пластмассы делятся на термопластичные и терморективные. Термопластичные при неоднократном нагревании и охлаждении каждый раз размягчаются и затвердевают. Терморективные при нагревании размягчаются, затем еще до охлаждения затвердевают (вследствие протекания химических реакций) и при повторном нагревании остаются твердыми.

По виду наполнителя пластмассы делятся на порошковые, волокнистые, слоистые, газонаполненные и пластмассы без наполнителя.

По способу переработки в изделия пластмассы подразделяются на литьевые и прессовочные. Литьевые перерабатываются в изделия методами литьевого прессования и являются термопластичными. Прессовочные перерабатываются в изделия методами горячего прессования и являются терморективными.

По назначению пластмассы делятся на конструкционные, химически стойкие, прокладочные и уплотнительные, фрикционные и антифрикционные, теплоизоляционные и теплозащитные, электроизоляционные, оптически прозрачные, облицовочно-декоративные и отделочные.

Слоистые пластмассы получают прессованием (или намоткой) слоистых наполнителей, пропитанных смолой. Они обычно выпускаются в виде листов, плит, труб, из которых механической обработкой получают различные детали.

Текстолит – это материал, полученный прессованием пакета кусков хлопчатобумажной ткани, пропитанной смолой. Обладает хорошей "способностью поглощать вибрационные нагрузки, электроизоляционными свойствами. Теплостоек до 80° С.

Стеклотекстолит отличается от текстолита тем, что в качестве наполнителя используется стеклоткань. Более прочен и теплостоек, чем текстолит, имеет лучшие электроизоляционные свойства. В асботекстолите наполнителем является асбестовая ткань. Кроме электроизоляционных, он имеет хорошие теплоизоляционные и фрикционные свойства.

Гетинакс представляет собой материал, полученный прессованием нескольких слоев бумаги, пропитанной смолой. Он обладает электроизоляционными свойствами, устойчив к действию химикатов, может применяться при температуре до 120-140° С. Стекловолоконный анизотропный материал (СВАМ) получают прессованием листов стеклошпона, пропитанных смолой. Стеклошпон изготавливается из стеклянных нитей, которые склеиваются между собой сразу после изготовления. Листы стеклошпона располагаются в материале так, чтобы волокна соседних листов располагались под углом 90°. СВАМ обладает высокой прочностью, хорошими электроизоляционными свойствами, теплостоек до 200-400° С.

Волокнистые пластмассы представляют собой композиции из волокнистого наполнителя, пропитанного смолой. Они делятся на волокниты, асбоволокниты и стекловолоконниты.

В волокнитах в качестве наполнителя применяется хлопковое волокно. Они используются для относительно крупных деталей общетехнического назначения с повышенной стойкостью к ударным нагрузкам. Асбоволокниты имеют наполнителем асбест – волокнистый минерал, расщепляющийся на тонкое волокно диаметром 0,5 мкм. Обладают теплостойкостью до 200° С, устойчивостью к ударным воздействиям, химической стойкостью, электроизоляционными и фрикционными свойствами. Стекловолоконниты имеют в качестве наполнителя короткое стекловолокно или стеклонити. Прочность, электроизоляционные свойства и водостойкость стекловолоконнитов выше, чем у волокнитов. Применяются для изготовления деталей, обладающих повышенной прочностью.

Порошковые пластмассы в качестве наполнителя используют органические порошки (древесная мука, порошкообразная целлюлоза) и минеральные порошки (молотый кварц, тальк, цемент, графит). Эти пластмассы обладают невысокой прочностью, низкой ударной вязкостью, электроизоляционными свойствами. Пластмассы с органическими наполнителями применяются для ненагруженных деталей общетехнического назначения – корпусов приборов, рукояток, кнопок. Минеральные наполнители придают порошковым пластмассам химическую стойкость, водостойкость, повышенные электроизоляционные свойства.

Рассмотренные выше пластмассы со слоистыми, волокнистыми и порошковыми наполнителями имеют чаще всего терморезистивные связующие, хотя имеются пластмассы с термопластичными связующими.

Пластмассы без наполнителя чаще всего являются термопластичными материалами. Рассмотрим наиболее важные из них.

Полиэтилен $(-CH_2-CH_2-)_n$ – продукт полимеризации бесцветного газа – этилена. Один из самых легких материалов (плотность 0,92 г/см³), имеет высокую эластичность, химически стоек, морозостоек. Недостатки – склонность к старению и невысокая теплостойкость (до 60° С).

Используется для изготовления пленки, изоляции проводов, изготовления коррозионностойких труб, уплотнительных деталей. Занимает первое место в общем объеме производства пластмасс.

Полипропилен $(-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5)_n$ – продукт полимеризации газа пропилена. По свойствам и применению аналогичен полиэтилену, но более теплостоек (до 150°C) и менее морозостоек (до -10°C).

Поливинилхлорид $(-\text{CH}_2-\text{CHCl})_n$ используется для производства винипласта и пластиката. Винипласт представляет собой твердый листовый материал, полученный из поливинилхлорида без добавки пластификаторов. Обладает высокой прочностью, химической стойкостью, электроизоляционными свойствами. Пластикат получают при добавлении в поливинилхлорид пластификаторов, повышающих его пластичность и морозостойкость.

Полистирол $(-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5)_n$ – твердый, жесткий, прозрачный полимер. Имеет очень хорошие электроизоляционные свойства. Его недостатки – низкая теплостойкость, склонность к старению и растрескиванию. Используется в электротехнической промышленности.

Органическое стекло – прозрачный термопластичный материал на основе полиакриловой смолы. Отличается высокой оптической прозрачностью, в 2 раза легче минеральных стекол, обладает химической стойкостью. Недостатки – низкая твердость и низкая теплостойкость. Используется для остекления в автомобиле- и самолетостроении, для прозрачных деталей в приборостроении.

Фторопласты имеют наибольшую термическую и химическую стойкость из всех термопластичных полимеров.

Газонаполненные пластмассы представляют собой материалы на основе синтетических смол, содержащие газовые включения. В пенопластах поры, заполненные газом, не соединяются друг с другом и образуют замкнутые объемы. Они отличаются малой плотностью ($0,02-0,2\text{ г/см}^3$), высокими тепло-, звуко- и электроизоляционными свойствами, водостойкостью. Недостатки пенопластов – низкая прочность и низкая теплостойкость (до 60°C). Используются для теплоизоляции и звукоизоляции, изготовления непотопляемых плавучих средств, в качестве легкого заполнителя различных конструкций. Мягкие виды пенопластов используются для изготовления мебели, амортизаторов и т.п.

Поропласты – это газонаполненные пластмассы, поры которых сообщаются между собой. Их плотность составляет $0,02-0,5\text{ г/см}^3$. Они представляют собой мягкие эластичные материалы, обладающие водопоглощением.



7. Полимерные материалы для трубопроводного транспорта

Полиэтилен является продуктом полимеризации этилена, химическая формула которого, содержит два, связанных двойной связью атома углерода, к которым присоединены по два атома водорода – C_2H_4 . В процессе полимеризации происходит разрыв двойной связи и образуется полимерная цепь, элементарное звено, называемое остатком, которое состоит из атома углерода и двух атомов водорода. Фрагмент такой цепи показан на рисунке 7.1.



Рисунок 7.1 – Фрагмент макромолекулы полиэтилена

В процессе полимеризации может происходить разветвление полимерной цепи, когда к растущей главной цепи сбоку присоединяется короткая полимерная группа.

Разветвленность полимерной цепи препятствует плотной упаковке макромолекул и приводит к образованию рыхлой аморфно-кристаллической структуры материала и, как следствие, к уменьшению плотности полимера и понижению температуры размягчения. Различная степень разветвленности полимерной цепи полиэтиленов, полученных при высоком и низком давлениях, и определяет различие свойств этих материалов.

Полиэтилен – пластический материал с хорошими диэлектрическими свойствами. Ударостойкий, не ломающийся, с небольшой поглотительной способностью. Физиологически нейтральный, без запаха. Обладает относительно низкой паро- и газопроницаемостью. Полиэтилен не реагирует со щелочами любой концентрации, с растворами любых солей, карбоновыми, концентрированной соляной и плавиковой кислотами. Устойчив к бензину, воде, маслу. Разрушается 50%-ной азотной кислотой, а также жидкими и газообразными хлором и фтором. Не растворим в органических растворителях, и ограниченно набухает в них. Полиэтилен стоек при нагревании в вакууме и атмосфере инертного газа. Устойчив к низким температурам до $-70^{\circ}C$. Под действием солнечной радиации, особенно ультрафиолетовых лучей, подвергается фотодеструкции (в качестве светостабилизаторов используется сажа, производные бензофенонов). Практически безвреден, из него не выделяются в окружающую среду опасные для здоровья человека вещества.

Полиэтилен легко перерабатывается всеми основными способами переработки пластмасс. Легко подвергается модификации. Посредством хлорирования, сульфирования, бромирования, фторирования ему можно придать каучукоподобные свойства, улучшить теплостойкость, химическую стойкость. Сополимеризацией с другими олефинами, полярными мономерами повысить стойкость к растрескиванию, эластичность, прозрачность, адгезионные характеристики. Смешением с другими полимерами или сополимерами улучшить ударную вязкость и другие физические свойства.

Свойства полиэтилена как исходного сырья для переработки в различные изделия контролируют по нескольким ключевым показателям, таким, как плотность, текучесть расплава,

степень чистоты, механические характеристики, хрупкость, стойкость к растрескиванию, термостабильность, внешний вид. Образцы для определения механических показателей, плотности, стойкости к растрескиванию, температуры хрупкости, цвета окрашенного полиэтилена вырезают из пластин, изготовленных прессованием. Механические показатели (относительное удлинение при разрыве, предел текучести при растяжении и прочность при разрыве) определяются на образцах типа 1 по ГОСТ 11262-80. Величина относительного удлинения полиэтилена, предназначенного для газораспределительных сетей, регламентируется и не должна быть менее 350 %, на практике же мы получаем удлинение 600-700 %.

Полиэтилен трубных марок

Полиэтиленовые материалы, используемые для трубопроводных систем в начале 60-х годов, были известны как ПЭ высокой плотности (низкого давления) и в то время считались самыми лучшими полимерными материалами, производимыми для этих целей. Сегодня их относят к ПЭ первого поколения. В конце 60-х годов был создан полиэтилен средней плотности, который заметно отличался по своим свойствам от ПЭ высокой плотности и явился первым материалом из ПЭ второго поколения.

Поскольку способ получения полиэтилена и его плотность не позволяют судить об эксплуатационных характеристиках материала, классификация трубных марок полимеров осуществляется в соответствии с минимальной длительной прочностью, изготовленных из них полиэтиленовых труб (Minimum Required Strength, или MRS). Классификация полиэтилена по показателю MRS принята международными стандартами ISO 12162 и ISO 9080 и определяется по зависимости стойкости трубных образцов, выполненных из рассматриваемого материала, к внутреннему давлению и времени его воздействия при заданной температуре.

Классификация по показателю MRS связана со специфической особенностью полимеров деформироваться со временем под действием приложенных нагрузок. Чем меньше скорость нарастания деформаций, тем дольше срок службы трубопроводов, и наоборот. Скорость нарастания деформаций зависит от структуры материала, величины напряженного состояния и температуры эксплуатации.

При испытаниях на определение MRS образцы труб нагружаются внутренним давлением, которое создает в стенке трубы кольцевое напряжение заданного уровня, и доводятся до разрушения. Испытания проводятся как минимум при трех температурах (20, 60 и 80 °C), а их длительность достигает 9000 часов. Зависимость кольцевого напряжения от времени до разрушения и температуры испытания, найденная при обработке полученных данных предписанными статистическими методами, позволяет оценить прочностные свойства полимера и экстраполировать их на заданный период времени.

Для определения значения MRS используют полученные показатели кольцевых напряжений, которые полиэтиленовая труба может выдержать в течение 50 лет при температуре окружающей среды 20° C. Срок службы пластмассовых труб в 50 лет принят как в

международных, так и в отечественных нормативных документах.

В России классификация полиэтилена для газопроводов по значению минимальной длительной прочности принята с 1995 г.

Таблица 7.1

Длительная прочность полиэтилена по классификации MRS

Классификация полиэтилена	MRS, МПа	Длительная прочность, МПа	Максимальное давление (MOP), МПа, в трубах с SDR 11 при коэффициенте запаса прочности C=2,0
ПЭ 63	6,3	6,3-7,99	0,63
ПЭ 80	8,0	8,0-9,99	0,80
ПЭ 100	10,0	10,0-11,19	1,00

С момента получения композиций полиэтилена с различными сополимерами появилось три поколения марок полиэтилена: ПЭ 63, ПЭ 80 и ПЭ 100. Марки ПЭ 80 и ПЭ 100 применяются при изготовлении газопроводных труб.

Трубные марки полиэтилена первого (по классификации MRS) поколения – ПЭ 63 – с сомономером бутеном характеризовались относительно небольшими показателями длительной прочности и стойкости к растрескиванию. Это делало ПЭ 63 чувствительным к возможным царапинам, наносимым во время транспортировки и монтажа, и ставило преграду для распространения ПЭ 63 в системах газораспределения.

Появившийся впервые в середине семидесятых годов полиэтилен второго поколения (ПЭ 80), получаемый сополимеризацией этилена с бутеном или гексеном, имел значительно лучшие показатели по длительной прочности и стойкости к медленному распространению трещин. ПЭ 80 быстро завоевал рынок материалов для производства газовых труб, вытеснив ПЭ 63. Однако у него имелся и определенный недостаток - стойкость ПЭ 80 к быстрому распространению трещин была не выше, чем у ПЭ 63.

Полиэтилен третьего поколения с сомономером гексеном, классифицируемый как ПЭ 100, является бимодальным полиэтиленом, имеющим два семейства молекулярных цепей - короткие и длинные. Имея такое же высокое, как у ПЭ 80, сопротивление медленному росту трещин, ПЭ 100 отличается от него увеличенным сопротивлением к быстрому растрескиванию, которое находится в прямой зависимости от количества «связующих молекул» (боковых ответвлений). Этот материал обладает также более высокой прочностью и жесткостью по сравнению с ПЭ 80 (высокий предел текучести и модуль ползучести).

В инженерных расчетах значение MRS используется для определения максимального рабочего давления MOP (Maximum Allowable Operating Pressure), которое вычисляется по формуле:

$$MOP = \frac{2MRS}{C \cdot (SDR - 1)}$$

где C – коэффициент запаса прочности, определяемый условиями работы трубопровода;

SDR – стандартизованное отношение номинального наружного диаметра к номинальной толщине стенки трубы (D/s);

s – толщина стенки трубы, мм;

D – наружный диаметр трубы, мм.

В таблице 7.2 приведены свойства полиэтилена различного MRS, используемого для изготовления труб и соединительных деталей для газопроводов.

Таблица 7.2

Свойства полиэтилена трубных марок

Показатель		Классификация полиэтилена по MRS		
		ПЭ 63	ПЭ 80	ПЭ 100
Плотность, г/см ³		0,953-0,959	0,940-0,957	0,952-0,961
Показатель текучести расплава, г/10 мин, 190 °С при нагрузке	5 кг	0,3-0,5	0,45-1,2	0,4-0,5
	21,6 кг	10-14	12-16	-
Термостабильность (при 200°С), мин		>20 до 40	>20 до 40	>20
Стойкость к газовому конденсату, ч		>30 до 1500	>20 до 48	>100 до 396
Температура плавления, °С		125-137	125-137	125-137
Стойкость к распространению трещин	SCG – медленному, ч	>540	>90-1000	>384-2186
	RCP – быстрому, МПа	>1,3	>1,33-2,6	>3,33
Относительное удлинение при разрыве, %		>350-800	>350-850	>950-681
Предел текучести при растяжении, МПа		20-23	18-23	23-25
Диэлектрическая проницаемость при 1 МГц		2,2-2,4	2,3-2,4	2,2-2,4
Модуль упругости при растяжении, МПа		800	1000	1300-1400
Теплопроводность, Вт/(м×°С)		0,38	0,38	0,38
Коэффициент линейного теплового расширения, 1/°С×10 ⁻⁴ [мм/(м×°С)]		1,9 (0,19)	1,8-1,9 (0,18-0,19)	1,9 (0,19)
Температура хрупкости, °С		<-100	<-100	<-100
Изменение длины труб после прогрева, %		<3	<3	<3
Газопроницаемость кислорода при 20°С, лхм/(м ² ×с×н/м ²)		0,5×10 ⁻¹⁴		

8. Технологические процессы производства сварных конструкций

8.1 Общие вопросы образования сварного соединения

Нагрев и плавление металла при сварке

В процессе однопроходной сварки источник теплоты перемещается в теле и вместе с ним перемещается температурное поле. Температуры точек тела непрерывно изменяются (рис. 8.1). Вначале температура повышается, достигает максимального значения, а затем снижается. Изменение температуры во времени в данной точке тела называется термическим циклом.

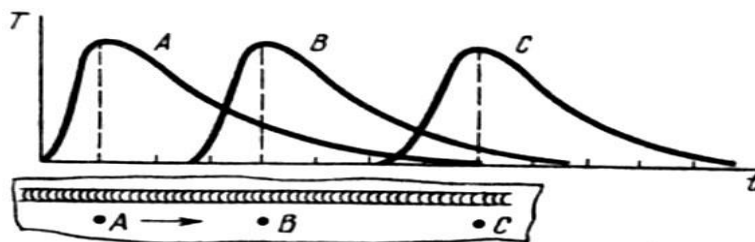


Рисунок 8.1 – Изменения температуры в точках тела A, B, C со временем

При установившемся температурном поле термические циклы точек, расположенных на одинаковом расстоянии от оси движения источника теплоты, одинаковы, но смещены во времени. Термические циклы точек, расположенных на различных расстояниях от оси движения источника теплоты, различаются между собой. В более удаленных точках температура повышается медленнее и позже достигает максимального значения.

Восходящая ветвь температурной кривой называется **стадией нагрева**, нисходящая – **стадией остывания**.

Основные характеристики термического цикла следующие: максимальная температура, скорость нагрева и скорость охлаждения при различных температурах, а также длительность пребывания материала выше заданной температуры. Эти характеристики цикла зависят от режима сварки, теплофизических свойств материала, конфигурации тела, условий его охлаждения, температуры предварительного подогрева. Умение определить эту температуру в процессе сварки очень важно для практики.

Определение максимальной температуры нагрева позволяет установить протяженность зоны возможной подкалки при сварке закаливающихся сталей (нагрев выше $A_{C1} - 723$ °С и т.д.). Максимальная температура точек тела, достигаемая в процессе нагрева и охлаждения при сварке, зависит от параметров режима, теплофизических свойств металла, а также удаленности рассматриваемой точки от шва. На рисунке 8.2 приведены термические циклы точек поверхности пластины, находящейся на разных расстояниях от шва. По мере удаления от шва рост и падение температур становятся более плавными, и значения максимальных температур снижаются, причем эти температуры достигаются позднее.

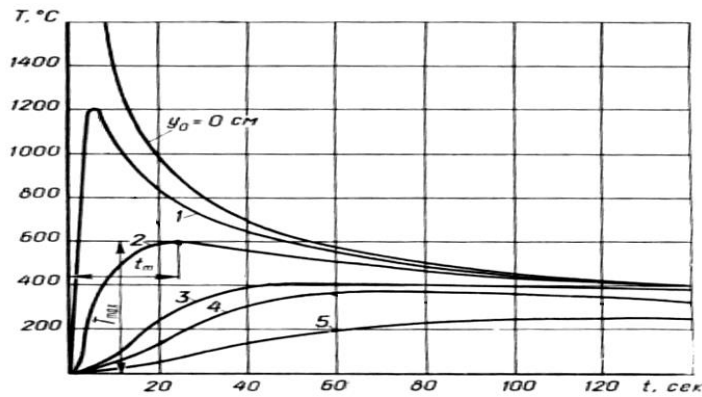


Рисунок 8.2 – Термические циклы для точек, различно удаленных от оси шва

Процессы кристаллизации при сварке

Кристаллизация расплавленного металла состоит из двух элементарных, одновременно протекающих процессов:

- зарождения зародышей или центров кристаллизации;
- роста кристаллитов из этих центров.

Движущая сила кристаллизации любого типа – разный характер изменения свободной энергии металла в жидком и твердом состояниях в зависимости от температуры (рис. 8.3). При температуре выше некоторой критической $T_{пл}$ меньшей свободной энергией обладает вещество в жидком состоянии, а при температуре ниже $T_{пл}$ энергетически более устойчиво твердое состояние металла.

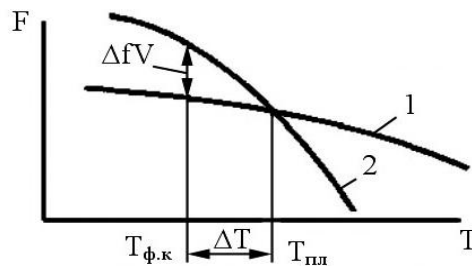


Рисунок 8.3 – Зависимость свободной энергии твердого (1) и жидкого (2) металла от температуры

Температура $T_{пл}$, при которой равновероятно как твердое, так и жидкое состояние, – равновесная или теоретическая температура кристаллизации. Затвердевание металла при этой температуре еще не происходит. Для кристаллизации необходимо образование зародышей и их рост в результате присоединения частиц контактирующей с ними жидкости. Это достигается при температуре ниже критической, т. е. при переохлаждении. Температура $T_{ф.к.}$, при которой практически начинается кристаллизация, называется фактической температурой кристаллизации. Степень переохлаждения ΔT называют разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации. Переохлаждение в чистых металлах называется термическим, в сплавах, где температура $T_{пл}$ уменьшается с повышением концентрации примеси, – концентрационным.

В результате кристаллизации освобождается некоторая энергия – **теплота кристаллизации**, численно равная скрытой теплоте плавления. Эта теплота отводится через границу раздела твердой и жидкой фаз в более холодное твердое тело.

В процессе сварки при местном воздействии источника тепла на основном металле образуется расплавленный участок, называемый сварочной ванной. Различают сварочные ванны двух типов:

- образующиеся при естественном охлаждении и формировании шва;
- образующиеся при использовании искусственного охлаждения и принудительного формирования шва.

Первичная кристаллизация металла

Переход металла из жидкого состояния в твердое сопровождается перегруппировкой атомов из неупорядоченного их расположения в упорядоченное, закономерное, определяемое кристаллической решеткой. Процесс образования кристаллов в металле при его затвердевании называется кристаллизацией.

Первоначально вырастают оси кристаллов, характеризующиеся симметрией 1-го, 2-го и последующих порядков. Затем заполняются межосевые пространства и образуются кристаллы, «скелет» которых имеет дендритное, или древовидное, строение. На основе этих общих представлений сложились две теории кристаллизации металлов – *непрерывной и периодической кристаллизации*.

Теория непрерывной кристаллизации разработана Г. Тамманом на основе исследований кристаллизации органических веществ при различных температурах. Г. Тамман установил, что при переохлаждении жидкого расплава в нем самопроизвольно зарождаются центры кристаллизации и начинается рост кристаллов. В связи с этим скорость кристаллизации определяется как числом центров (**ч.ц.**) кристаллизации, зарождающихся в единицу времени, так и линейной скоростью роста кристаллов (**с.к.**) в единицу времени. Соотношение этих величин определяет размер образующихся кристаллов.

При переохлаждении $n = 0$ (рис. 8.4) значения **ч.ц.** и **с.к.** также равны нулю, т.е. кристаллизация невозможна из-за отсутствия переохлаждения. С появлением небольшого переохлаждения **ч.ц.** и **с.к.** вначале возрастают. Здесь положению *I* отвечает относительно небольшое число центров при максимуме скорости роста кристаллов. В этом случае следует ожидать образования немногочисленных, но крупных кристаллов. Значительному переохлаждению жидкости в положении *II* отвечает максимальное число центров кристаллизации **ч.ц.**, но относительно малая скорость роста кристаллов **с.к.** Тогда будет образовываться мелкое зерно.

Теория непрерывной кристаллизации Г. Таммана предполагает спокойное затвердевание жидкости – без перемешивания жидкого металла внутренними конвективными потоками, при равномерном распределении температур в кристаллизующемся объеме, тогда как в действительности таких условий обычно не бывает. Следовательно, теория непрерывной кристаллизации имеет ограниченное применение для реальных жидких металлов.

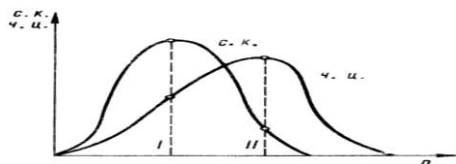


Рисунок 8.4 – Графики зависимости скорости роста кристаллов (с.к.) и числа центров кристаллизации (ч.ц.) от величины переохлаждения n

Теория периодической кристаллизации развита в работах ученых школы акад. Н. Т. Гудцова. Согласно этой теории кристаллизация металлов протекает с остановками вследствие периодического выделения скрытой теплоты кристаллизации, приостанавливающей равномерное течение процесса. Поскольку кристаллы растут с некоторыми остановками, т.е. слоями, центрами кристаллизации для каждого последующего слоя становятся различные неровности на поверхности предыдущего слоя.

Процесс кристаллизации имеет известную направленность: кристаллы растут в направлении, обратном теплоотводу, в глубь жидкости, причем внешняя форма их зависит от условий соприкосновения друг с другом.

Процессы вторичной кристаллизации в металле шва и в основном металле.

Вторичная кристаллизация в металле шва. Процесс первичной кристаллизации в сварочной ванне сплава $I-I$ (малоуглеродистая сталь) заканчивается достижением температуры T_c (рис. 8.5). Металл приобретает аустенитную структуру γ -Fe, но аустенитные зерна образуются в пределах первичных столбчатых кристаллов.

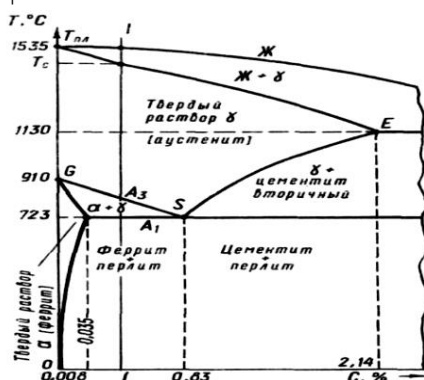


Рисунок 8.5 – Упрощенная диаграмма состояния железо-углерод (левый угол)

С дальнейшим понижением температуры структурные изменения в металле не наблюдаются вплоть до температуры, отвечающей началу перекристаллизации (точка A_3). Последующие структурные превращения в твердой фазе относятся к процессам вторичной кристаллизации металла.

Высокие скорости охлаждения, свойственные сварочному циклу, влияют на характер превращений в наплавленном металле, и поэтому конечные структуры отличаются от равновесных.

Можно отметить следующие общие особенности вторичных превращений в наплавленном металле:

- избыточный феррит успеваеет выделиться из аустенита не весь и поэтому к моменту

эвтектоидного превращения последний содержит $< 0,83\% \text{ C}$;

- в результате эвтектоидного превращения образуется несколько большее количество перлита с меньшим содержанием углерода, чем при равновесных превращениях;
- перлит имеет более тонкое строение.

Скорость охлаждения металла шва во времени – величина крайне непостоянная. В начальный момент, после прохождения дугой исследуемого участка металла, скорость охлаждения достигает $200-300 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$, а с течением времени быстро снижается. Наибольшее влияние на структуру металла шва оказывает скорость охлаждения в интервале температур наименьшей устойчивости аустенита. Принято считать, что она примерно равна мгновенной скорости охлаждения при средней температуре данного интервала.

Структура литого металла с грубым столбчатым строением характерна для однослойных швов. Выполнение швов в несколько проходов, или слоев, существенно влияет на структуру и свойства металла в целом. Объясняется это тем, что наложение каждого последующего валика 2 оказывает повторное тепловое воздействие на нижележащий валик 1, и под влиянием такой своеобразной термической обработки структура нижележащих слоев значительно улучшается, становится мелкозернистой, грубая столбчатость строения исчезает (рис. 8.6). Верхний валик сохраняет литую структуру металла, однако его свойства все же несколько улучшаются.

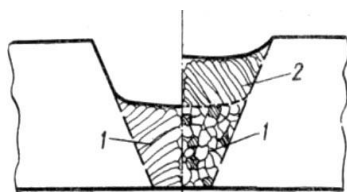


Рисунок 8.6 – Схема изменения структуры металла шва при наложении последующих слоев металла

Строение зоны термического влияния

Если знать максимальные температуры нагрева отдельных точек зоны термического влияния и скорость их охлаждения, то, пользуясь диаграммой железо-углерод, можно определить, какие изменения структуры возможны на участках зоны термического влияния и даже примерно установить линейные размеры этих участков. Максимальные температуры нагрева отдельных точек зоны термического влияния можно определить как экспериментально, так и теоретически.

На рисунке 8.7 схематично изображен сварной шов, а над ним проведена кривая распределения максимальных температур для точек зоны термического влияния. Рядом в том же температурном масштабе построен левый угол диаграммы состояния железо-углерод, где вертикальной прямой $I-I$ показан состав свариваемого металла.

Если наметить на данной прямой температурные границы участков зоны термического влияния, имеющих примерно одинаковую структуру, то можно перенести эти границы на кривую распределения максимальных температур и затем снести их вниз, т.е. на шов. Таким образом,

устанавливают примерные линейные размеры участков зоны термического влияния.

Зона термического влияния состоит из следующих характерных участков (рис. 8.7): 1 – неполного расплавления; 2 – перегрева; 3 – нормализации; 4 – неполной перекристаллизации; 5 – рекристаллизации; 6 – синеломкости. Рассмотрим структуру и свойства каждого из участков зоны термического влияния.

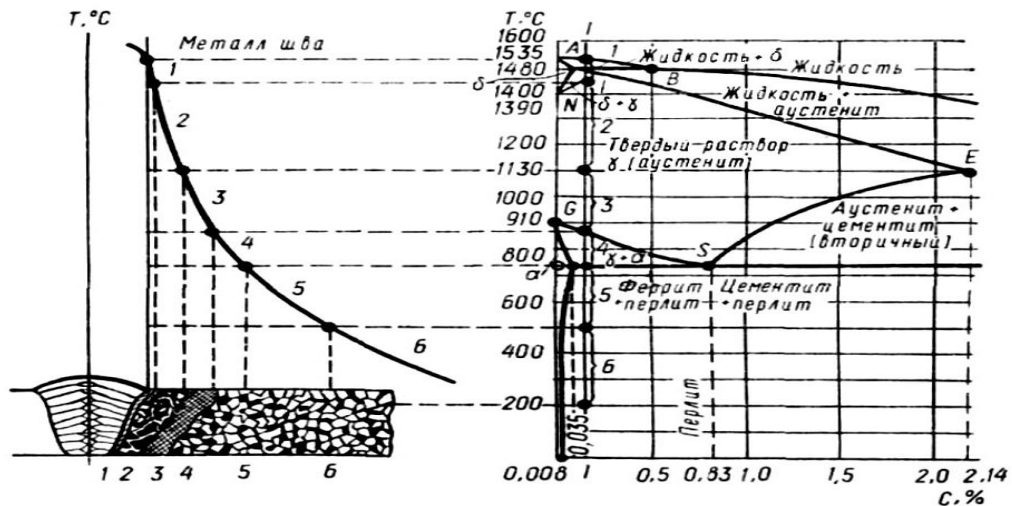


Рисунок 8.7 – Строение зоны термического влияния при сварке малоуглеродистой стали

Участок 1 неполного расплавления – тонкая переходная полоска от металла шва к основному металлу. Максимальные температуры нагрева – от температуры плавления металла до температуры солидус. Следовательно, здесь есть и жидкая и твердая фазы, облегчающие развитие крупного зерна.

На данном участке происходит непосредственное сращивание кристаллов металла шва с зерном основного металла, поэтому он зачастую определяет качество сварного соединения. Структура феррито-перлитная с окантовкой перлитных выделений ферритными прослойками.

Участок 2 перегрева лежит в интервале максимальных температур нагрева $T_c - 1130^\circ \text{C}$. В этих условиях зерно успевает сильно вырасти, а последующая перекристаллизация при охлаждении не дает его заметного измельчения. Поэтому металл участка перегрева имеет крупнозернистое строение. Феррит окружает укрупненные перлитные зерна своеобразной каймой, причем иногда здесь можно видеть видманштеттовую структуру. Участок перегрева отличается ухудшенными механическими свойствами (прочностью, пластичностью). Поэтому чем он меньше, тем выше качество сварного соединения.

Участок 3 нормализации находится в тех областях металла, которые нагреваются до максимальных температур, отвечающих точке A_{c3} и 1130°C . Так как длительность пребывания металла при этих температурах невелика, зерно аустенита заметно вырасти не успевает. Последующая перекристаллизация при охлаждении металла приводит к получению мелкой равноосной структуры. Металл этого участка имеет самые высокие механические свойства.

Участок 4 неполной перекристаллизации наблюдается в области нагрева металла до

максимальных температур между точками A_{C1} и A_{C3} . Протекающие здесь превращения таковы: при достижении металлом в процессе нагрева температуры, соответствующей точке A_{C1} , происходит эвтектоидное превращение, т.е. перлит переходит в аустенит и затем феррит начинает растворяться в аустените. Каждой температуре, лежащей выше A_{C1} , вплоть до A_{C3} отвечает какое-то количество феррита, растворившегося в аустените, и только в полоске металла, примыкающего к участку нормализации, где будет достигнута температура точки A_{C3} , в аустените растворится весь феррит. Таким образом, в интервале температур точек $A_{C1} - A_{C3}$ часть феррита не растворится в аустените и сохранит свой старый размер зерен. Тот же феррит, который растворился в аустените, при последующем охлаждении металла будет выделяться из аустенита и образовывать несколько новых зерен феррита. Закончится вторичная кристаллизация эвтектоидным превращением оставшегося аустенита в перлит. Конечная структура металла на этом участке состоит из крупных зерен феррита, не прошедших перекристаллизацию, и расположенных вокруг них колоний мелких зерен феррита и перлита, образовавшихся в результате перекристаллизации. Механические свойства этого участка хуже, чем свойства участка нормализации.

Участок 5 рекристаллизации наблюдается при сварке металла, подвергнутого холодной обработке давлением. Максимальная температура нагрева металла находится в пределах $500^{\circ}\text{C} - A_{C1}$. Здесь протекает рекристаллизация зерен феррита, т.е. рост этих зерен из их раздробленных частей, полученных при пластической деформации металла. Такой рост возможен за счет перехода атомов железа из решетки одного зерна в соседнюю, обладающую меньшей свободной энергией. Конечно, в этом случае никакого полиморфного превращения железа нет.

Пластическая деформация металла сопровождается значительным упрочнением за счет сдвига и поворота образовавшихся обломков кристаллитов, а протекающая в таком металле рекристаллизация возвращает ему прежние механические свойства. Структуру участка рекристаллизации составляют равноосные зерна феррита и перлита. Если свариваемая сталь не подвергалась пластической деформации, то на участке рекристаллизации никаких структурных изменений не произойдет.

Участок 6 синеломкости нагревается, до максимальных температур $200-500^{\circ}\text{C}$. Он характеризуется снижением пластических свойств без видимых изменений структуры. Явление синеломкости объясняют выделением из твердого раствора $\alpha\text{-Fe}$ субмикроскопических частиц различных примесей, располагающихся по границам зерен.

На левой половине рисунка схематично изображена структура металла при высоких температурах, отвечающих завершению первичной кристаллизации. Здесь шов имеет крупностолбчатое строение и рядом с ним находится зона крупных зерен основного металла в состоянии аустенита (участок перегрева).

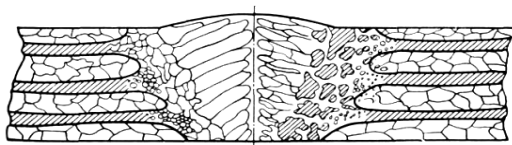


Рисунок 8.8 – Схема структуры металла сварного соединения

Далее размер зерен аустенита уменьшается (участок нормализации), после чего между укрупненными зернами феррита появляются зерна аустенита (участок неполной перекристаллизации). Правая часть рисунка показывает структуру металла после вторичной кристаллизации и охлаждения до комнатной температуры. В металле шва столбчатость строения сохранилась, но видны границы новых зерен, образовавшихся в пределах столбчатых кристаллов. Затем следует участок перегрева с крупным зерном, участок нормализации и неполной перекристаллизации. Структура всех участков феррито-перлитная. Основной металл вне зоны термического влияния также имеет феррито-перлитную строичную структуру. Резких границ между участками зоны термического влияния нет, наблюдается плавный, постепенный переход одной структуры в другую.

Протяженность участков, а значит и зоны термического влияния в целом, имеет большое значение для оценки качества сварного соединения. Чем меньше эта зона, тем выше в общем случае качество сварного соединения. С увеличением данной зоны показатели механических свойств сварного соединения вообще снижаются, т.к. при этом растут линейные размеры участков перегрева, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и синеломкости.

8.2 Сварочные материалы

Сварочными называются материалы, обеспечивающие возможность протекания сварочных процессов и получение качественного сварного соединения. К сварочным материалам относят сварочную проволоку, присадочные прутки, порошковую проволоку, плавящиеся покрытые электроды, неплавящиеся электроды, различные флюсы, защитные (активные и инертные) газы.

Стальные сварочные проволоки. При дуговой сварке под флюсом и в защитных газах, а также при электрошлаковой сварке применяют сварочную проволоку без покрытия, так называемую голую сварочную проволоку.

Сварочную проволоку получают горячей прокаткой и волочением. Если металл шва должен иметь высокую твердость, то присадочный металл плохо деформируется в горячем и холодном состояниях. В этом случае сварочную проволоку изготавливают литьем в виде присадочных прутков длиной до 1000 мм. Проволока выпускается в кассетах, катушках и бухтах в герметической упаковке.

По виду поверхности проволока подразделяется на **неомедненную и омедненную (О)**. Омеднение поверхности проволоки улучшает электрический контакт между проволокой и токоподводящим устройством, а также снижает возможность ее ржавления.

По требованию потребителя проволока может изготавливаться из стали, выплавленной электрошлаковым (Ш) или вакуумнодуговым (ВД) переплавом, или в вакуумноиндукционных печах (ВИ). Буква Э обозначает, что проволока предназначена для изготовления электродов.

На основании многолетнего опыта разработаны государственные стандарты: ГОСТ 2246-70 (в ред. 1987 г.). Проволока стальная сварочная.

ГОСТ 10543-98. Проволока стальная наплавочная.

ГОСТ 7871-75 (в ред. 1989 г.). Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов.

ГОСТ 16130-90. Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные.

ГОСТ 2246-70 регламентирует химический состав 77 марок сварочной проволоки, используемых в качестве электродной, присадочной, наплавочной и для изготовления покрытых электродов для ручной дуговой сварки. Стандартом предусмотрены диаметры проволок (мм): 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0. Стандарт распространяется на холоднотянутую сварочную проволоку из низкоуглеродистой, легированной и высоколегированной сталей.

В обозначении проволоки по стандарту указаны ее назначение «Св», т. е. что она сварочная, затем система легирования и примерное содержание элементов. Цифры, следующие за индексом Св, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Так же, как и при обозначении марок стали, легирующие элементы, входящие в состав проволок, обозначены буквами: В – вольфрам; Г – марганец; Д – медь; М – молибден; Н – никель; С – кремний; Т – титан; Ф – ванадий; Х – хром; Ц – цирконий; Ю – алюминий; Б – бор; К – кобальт; Е – селен; А – азот (только в высоколегированных проволоках. Ставить в конце обозначения марки не допускается). При содержании элементов менее 2 % цифра не ставится. Более точное содержание элементов дано в стандарте.

Повышенные требования к чистоте проволоки по вредным примесям (снижение содержания серы и фосфора на 0,01 % каждой) отмечается в марке проволоки (только углеродистой и легированной) буквой А и АА, например, Св-08А. Для высоколегированных проволок не допускается содержание серы и фосфора свыше 0,035 %.

Пример условного обозначения проволоки для сварки диаметром 1,2 мм, марки 08Г2С с омедненной поверхностью: проволока 1,2 Св-08Г2С-О ГОСТ 2246-70.

Пример условного обозначения проволоки, предназначенной для изготовления электродов из стали, выплавленной в вакуумноиндукционной печи, с омедненной поверхностью: проволока 2,5 Св-08ХГСМФА - ВИ - Э - О ГОСТ 2246-70.

Низкоуглеродистые сварочные проволоки в основном отличаются друг от друга содержанием марганца, серы и фосфора: Св-08; Св-08А; Св-08АА; Св-08ГА; Св-10ГА; Св-10Г2.

В сварочных легированных проволоках может содержаться до шести легирующих элементов, а их общее количество достигает 6%. Эти проволоки применяют для различных видов сварки углеродистых и легированных сталей. Проволоки Св-15ГСТЮЦА и Св-20ГСТЮА применяют для дуговой сварки без дополнительной защиты. Проволоки, легированные кремнием и марганцем (Св-08Г2С, Св-08ГС), применяют для сварки конструкционных сталей в защитных газах CO₂. Проволоки Св-08ХНМ, Св-08ХН2М, Св-08ХМФА, Св-08ХГСМФА и другие, комплексно легированные хромом, молибденом, никелем, кремнием и ванадием, применяют для сварки низколегированных высокопрочных сталей.

При содержании в проволоке легирующих элементов более 6% ее относят к

высоколегированным. Высоколегированные аустенитные и ферритные проволоки применяют для сварки нержавеющей, жаростойких и других специальных сталей различного состава: Св-12Х13; Св-13Х25Т; Св-06Х19Н9Т; Св-10Х16Н25АМ6; Св-06Х15Н60М15; Св-07Х25Н13.

ГОСТ 10543-98 «Проволока стальная наплавочная» регламентирует 30 марок проволоки для наплавки, из них 9 марок углеродистых, 11 марок легированных и 10 марок высоколегированных. Проволоки также классифицируются по химическому составу. Символ «Нп» означает, что проволока для наплавки (только для механизированной наплавки). Например, проволока Нп-30; Нп-50Г; Нп-30ХГСА; Нп-105Х; Нп-60Х3В10Ф; Нп-50ХНМ. Полное обозначение проволоки для наплавки имеет вид: 3 Нп-105Х ГОСТ 10543-75.

ГОСТ 7871-75 регламентирует химический состав 14 марок тянутой и прессованной проволоки из алюминия СвА97 (Al > 99,5%), алюминивно-марганцевого сплава (СвАМц), алюминивно-магниевого сплава (СвАМг3, СвАМг4, СвАМг5, СвАМг6 и др.), алюминивно-кремнистых сплавов (СвАК5; СвАКЮ; Св1201) диаметры проволок 0,8-12,5 мм. Пример условного обозначения проволоки по этому ГОСТу: 2 СвАМц ГОСТ 7871-75.

ГОСТ 16130-72 регламентирует химический состав проволоки и прутков из меди и сплава на медной основе для сварки, наплавки и пайки. Стандарт регламентирует 17 марок проволоки и 12 марок прутков. Обозначение марок соответствует буквенным и цифровым обозначениям, принятым для меди и ее сплавов (без символа «Св»), Диаметры проволок 0,8-8,0 мм. Диаметры прутков 6,0 и 8,0 мм. Например, МТ; Бр.Х0,7; Бр.ХТ0,6-0,5; МНЖКТ5-1-0,2-0,2; Бр.КМц3-1.

Сварочная порошковая проволока – сварочная проволока, состоящая из металлической оболочки, заполненной порошкообразными веществами (рис. 8.9). В состав смеси входят минералы, руды, ферросплавы и металлические порошки, предназначенные для газошлаковой защиты расплавленного металла, раскисления, легирования и стабилизации дугового разряда. По конструкции порошковые проволоки могут быть классифицированы на бесшовные и шовные, с одним и двумя загибами, а также двухслойные.

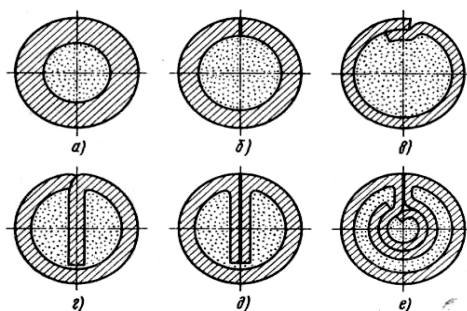


Рисунок 8.9 – Конструкции порошковых проволок.

Шовную порошковую проволоку изготавливают из ленты (рис. 8.10). Легко деформируемая лента из рулона 1 подается в специальное очистное устройство 2, откуда поступает в ролики 3, предварительно деформирующие из ленты желоб (сечение а-а). Дозатор 4 наполняет желоб шихтой, после чего лента попадает в ролики 5, в которых формируется собственно сечение проволоки (сечения б-б и в-в). Проходя через фильеры 6, проволока деформируется до нужного диаметра 2,0–2,5 мм, проходит через волочильный барабан 7 и наматывается на кассету 8.

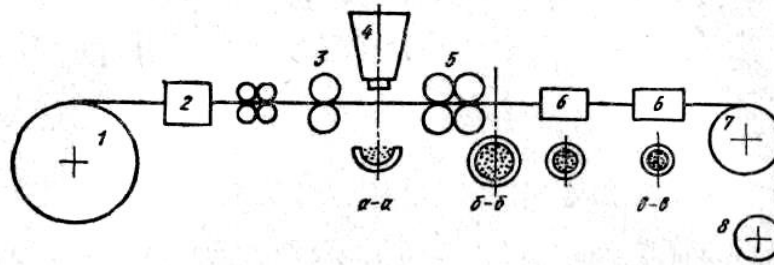


Рисунок 8.10 – Технологические операции при изготовлении ПП

Бесшовные проволоки изготавливают из пластичной трубы, заполненной наполнителем, волочением. Ее можно получать малого диаметра (до 1 мм) и омеднять. Такая проволока негигроскопична.



Рисунок 8.11 – Технологические операции при изготовлении бесшовной ПП

Отношение массы порошкового наполнителя проволоки к массе оболочки находится в пределах 15 ... 25 % (в шовных проволока 15...40%). Чем больше это отношение, тем легче обеспечить качественную защиту расплавленного металла и легирование металла шва.

По способу защиты порошковые проволоки делятся на самозащитные и используемые с дополнительной защитой зоны сварки газом или флюсом. Наиболее часто в качестве защитной среды употребляют углекислый газ и смесь аргона с углекислым газом. По составу сердечника порошковые проволоки делятся, так же, как и электроды по виду покрытия, на рутил-органические, рутиловые, рутил-основные и основные. Порошковая проволока - универсальный сварочный материал, пригодный для сварки сталей практически любого легирования и для наплавки слоев с особыми свойствами. Порошковую проволоку выпускают диаметром 0,8 ... 3,2 мм. Для сварки во всех пространственных положениях используют в основном проволоки малых диаметров (чаще диаметром 1,2 мм).

Например, ПП-АН1; ПП-АН7; ПП-10Х14Т-О; ПП-200Х10Г80; ПП-25Х5ФМС.

Прутки для наплавки

Для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания с ударными нагрузками, а также при повышенных температурах в условиях коррозии и эрозии, выпускаются прутки, которые используются при дуговых способах сварки неплавящимся электродом и газовой сварке. ГОСТ 21449-75 (в ред. 1991 г.) предусматривает выпуск литых прутков диаметром 4, 5, 6 и 8 мм длиной 300 ... 500 мм 3 марок: 1 на основе железа – Пр-С27 (тип ПрН-У45Х28Н2СВМ), и 2 на основе кобальта – ПрВЗК (тип ПрН-У 10ХК63В5), Пр-ВЗК-Р (тип ПрН-У20ХК57В10).

Выпускают прутки и из других металлов и сплавов длиной до 1000 мм для использования их в качестве дополнительного присадочного металла при ручных дуговых способах сварки неплавящимися электродами и газовой сварке.

Порошки для наплавки и напыления.

В соответствии с ГОСТ 21448-75 (в ред. 1991 г.) выпускают порошки из сплавов по гранулометрическому составу: крупный (К) с размером частиц 1,25 ... 0,8 мм, средний (С) - 0,8 ... 0,4 мм, мелкий (М) - 0,4 ... 0,16 мм и очень мелкий (ОМ) - менее 0,16 мм. ГОСТом предусмотрено 7 марок порошков: ПГ-С27 (тип ПН-У40Х28Н2С2ВМ), ПГ-УС25 (тип ПН-У50Х38Н), ПГ-ФБХ6-2 (тип ПН-У45Х35ГСР), ПГ-АН1 (тип ПН-У25Х30СР), ПГ-СР2 (тип ПН-ХН80С2Р2), ПГ-СР3 (тип ПН-ХН80С3Р3), ПГ-СР4 (тип ПН-ХН80С4Р4). для наплавки и напыления износостойкого слоя на детали машин и оборудования, работающие в условиях воздействия абразивного изнашивания, коррозии, эрозии при повышенных температурах или в агрессивных средах. Порошки поставляют в металлических банках массой до 50 кг.

Неплавящиеся электроды.

В зависимости от материала, из которого они изготовлены неплавящиеся электроды, они могут быть угольными, графитовыми, вольфрамовыми, циркониевыми, гафниевыми. Все эти материалы относятся к группе тугоплавких. Неплавящиеся электроды служат только для поддержания горения дуги и поэтому должны обладать высокой стойкостью при воздействии высоких температур (расход их должен быть минимальным).

Графитовые и угольные электроды обладают малой теплопроводностью. В графитовых электродах углерод имеет кристаллическое строение, в угольных – аморфное. Они имеют круглое сечение диаметром 5...25 мм и длину 200...300 мм. Конец электрода затачивают на конус. Графитовые электроды по сравнению с угольными обладают большей электропроводностью и большей стойкостью против окисления при высоких температурах (температура начала окисления на воздухе угольного электрода 500 °С, графитового 640 °С). Это заметно снижает удельный расход электродов и позволяет производить сварку на повышенных плотностях тока. Подвод тока к графитовым и угольным электродам осуществляется при помощи специальных электрододержателей. С целью стабилизации положения дуги применяют угольные электроды с фитилем; фитиль – это канал, расположенный по центру электрода и заполненный порошкообразной массой, содержащей легкоионизируемые вещества.

Наиболее широко используют стержни из вольфрама и вольфрама с активирующими присадками окислов (тория, лантана, иттрия, циркония и церия), что обусловлено тугоплавкостью вольфрама (температура плавления 3410 °С, температура кипения 5900 °С), его высокой электропроводностью и теплопроводностью.

В настоящее время изготавливаются электроды из чистого вольфрама марки WP (зелёный); электроды из сплава вольфрама с оксидом лантана марок WL-15 (золотистый) и WL-20 (синий), электроды из сплава вольфрама с оксидом тория марки WT-20 (красный); электроды из сплава вольфрама с оксидом церия WC-20 (серый); электроды из сплава вольфрама с оксидом иттрия WY-20 (тёмно-синий); электроды из сплава вольфрама с оксидом циркония WZ-8 (белый). Цифры в обозначении марок вольфрамового электрода указывают количество активирующей присадки в десятых долях процента.

Электроды диаметром 0,5 мм выпускают в мотках, а электроды диаметром 1 ... 10 мм выпускают прутками длиной 75, 150, 200 и 300 мм.

Добавка к вольфраму окислов тория, лантана, иттрия, циркония и церия снижает эффективный потенциал ионизации, в результате чего облегчается зажигание дуги, увеличивается устойчивость дугового разряда и повышается стойкость электрода. Появляется возможность значительно повысить плотность тока, так как при этом конец электрода не изменяет формы в процессе сварки.

WP (зеленый) – Электрод из чистого вольфрама (содержание не менее 99,5%). Электроды обеспечивают хорошую устойчивость дуги при сварке на переменном токе, сбалансированном или не сбалансированном с непрерывной высокочастотной стабилизацией (с осциллятором). Эти электроды предпочтительны для сварки на переменном синусоидальном токе алюминия, магния и их сплавов, так как они обеспечивают хорошую устойчивость дуги как в аргоновой, так и в гелиевой среде. Из-за ограниченной тепловой нагрузки рабочий конец электрода из чистого вольфрама формируют в виде шарика.

Основные свариваемые материалы: алюминий, магний и их сплавы.

WZ-8 (белый) – Электроды с добавлением оксида циркония предпочтительны для сварки на переменном токе, когда не допускается даже минимальное загрязнение сварочной ванны. Электроды дают чрезвычайно стабильную дугу. Допустимая токовая нагрузка на электрод несколько выше, чем на цериевые, лантановые и ториевые электроды. Рабочий конец электрода при сварке на переменном токе обрабатывается в форме сферы.

Основные свариваемые материалы: алюминий и его сплавы, бронза и ее сплавы, магний и его сплавы, никель и его сплавы.

WT-20 (красный) – Электрод с добавлением оксида тория. Наиболее распространенные электроды, поскольку они первые показали существенные преимущества композиционных электродов над чисто вольфрамовыми при сварке на постоянном токе. Тем не менее, торий – радиоактивный материал низкого уровня, таким образом, пары и пыль, образующаяся при заточке электрода, могут влиять на здоровье сварщика и безопасность окружающей среды.

Сравнительно небольшое выделение тория при эпизодической сварке, как показала практика, не являются факторами риска. Но, если сварка производится в ограниченных пространствах регулярно и в течение длительного времени или сварщик вынужден вдыхать пыль, образующуюся при заточке электрода, необходимо в целях безопасности оборудовать места производства работ местной вентиляцией.

Торированные электроды хорошо работают при сварке на постоянном токе и с улучшенными источниками тока, при этом, в зависимости от поставленной задачи можно менять угол заточки электрода. Торированные электроды хорошо сохраняют свою форму при больших сварочных токах даже в тех случаях, когда чисто вольфрамовый электрод начинает плавиться с образованием на конце сферической поверхности.

Электроды WT-20 не рекомендуется использовать для сварки на переменном токе. Торец

электрода обрабатывается в форме площадки с выступами.

Основные свариваемые материалы: нержавеющие стали, металлы с высокой температурой плавления (молибден, тантал), ниобий и его сплавы, медь, бронза кремниевая, никель и его сплавы, титан и его сплавы.

WY-20 (темно-синий) – Иттрированный вольфрамовый электрод, наиболее стойкий из используемых сегодня неплавящихся электродов. Используется для сварки особо ответственных соединений на постоянном токе прямой полярности, содержание окисной добавки – 1,8-2,2%, иттрированный вольфрам повышает стабильность катодного пятна на конце электрода, вследствие чего улучшается устойчивость дуги в широком диапазоне рабочих токов.

Основные свариваемые материалы: сварка особо ответственных конструкций из углеродистых, низколегированных и нержавеющих сталей, титана, меди и их сплавов на постоянном токе (DC).

WC-20 (серый) – Сплав вольфрама с 2% оксида церия (церий – самый распространенный нерадиоактивный редкоземельный элемент) улучшает эмиссию электрода. Улучшает начальный запуск дуги и увеличивает допустимый сварочный ток. Электроды WC-20 – универсальные, ими можно с успехом сваривать на переменном токе и на постоянном прямой полярности.

По сравнению с чисто вольфрамовым электродом, цериевый электрод дает большую устойчивость дуги даже при малых значениях тока. Электроды применяются при орбитальной сварке труб, сварке трубопроводов и тонколистовой стали. При сварке этими электродами с большими значениями тока происходит концентрация оксида церия в раскаленном конце электрода. Это является недостатком цериевых электродов.

Основные свариваемые материалы: металлы с высокой температурой плавления (молибден, тантал), ниобий и его сплавы, медь, бронза кремниевая, никель и его сплавы, титан и его сплавы. Подходит для всех типов сталей и сплавов на переменном и постоянном токе

WL-20, WL-15 (синий, золотистый) – Электроды из сплава вольфрама с оксидом лантана имеют очень легкий первоначальный запуск дуги, низкую склонность к прожогам, устойчивую дугу и отличную характеристику повторного зажигания дуги.

Добавление 1,5% (WL-15) и 2,0% (WL-20) оксида лантана увеличивает максимальный ток, несущая способность электрода примерно на 50% больше для данного типоразмера при сварке на переменном токе, чем чисто вольфрамового. По сравнению с цериевыми и ториевыми, лантановые электроды имеют меньший износ рабочего конца электрода.

Лантановые электроды более долговечны и меньше загрязняют вольфрамом сварной шов. Оксид лантана равномерно распределен по длине электрода, что позволяет длительное время сохранять при сварке первоначальную заточку электрода. Это серьезное преимущество при сварке на постоянном (прямой полярности) или переменном токе от улучшенных источников сварочного тока, сталей и нержавеющих сталей. При сварке на переменном синусоидальном токе рабочий конец электрода должен иметь сферическую форму.

Основные свариваемые материалы: высоколегированные стали, алюминий, медь, бронза. Подходит для всех типов сталей и сплавов на переменном и постоянном токе.

Затачивать конец электрода для сварки переменным током рекомендуется в виде сферы, для сварки постоянным током – в виде конуса. Расход электродов из чистого вольфрама значительно выше, чем из вольфрама с активирующими присадками.

Все работы с электродами из вольфрама с присадкой окиси тория, а также транспортировку и хранение их следует выполнять в соответствии с санитарными правилами работы с радиоактивными веществами.

Плавящиеся покрытые электроды для РДС

Электрод для ручной дуговой сварки (рис. 8.12) представляет собой стержень длиной до 450 мм, изготовленный из сварочной проволоки, на поверхность которого нанесен слой покрытия 2. Один из концов электрода 1 на длине 20 ... 30 мм освобожден от покрытия для зажатия его в электрододержателе с целью обеспечения электрического контакта.

Торец 3 другого конца очищен от покрытия для возможности возбуждения дуги посредством касания изделия в начале процесса сварки.

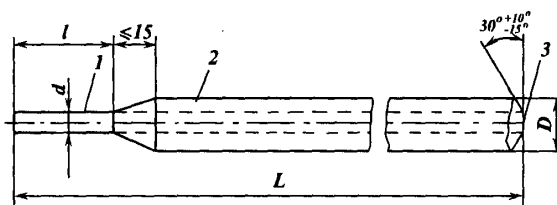


Рисунок 8.12 – Покрытый сварочный электрод

Длина стержня в зависимости от его диаметра. Ограничение длины стержня связано с потерей его формы из-за нагрева при прохождении по нему сварочного тока.

Электродные покрытия создают при сварке защиту от кислорода и азота воздуха расплавленного металла в процессе переноса его и в самой сварочной ванне, а также стабилизируют горение дуги, очищают металл сварочной ванны от вредных примесей и легируют металл шва для улучшения его свойств.

Выбор типа электрода производится исходя из условия обеспечения равнопрочности сварного шва и основного металла. Каждому типу электрода соответствует несколько марок электродов. Марка электрода – это его промышленное обозначение, как правило, характеризующее состав покрытия.

Электроды делят на две группы: тонкие (стабилизирующие и ионизирующие) и толстые (качественные). Назначение тонкого покрытия – облегчить возбуждение дуги и стабилизировать ее горение. Для этого покрытие составляют из вещества, атомы и молекулы которого обладают низким потенциалом ионизации, т.е. легко ионизируются в воздушном промежутке дуги. Покрытие наносят на стержень электрода слоем 0,1-0,25 мм. Тонкое покрытие не создает защиты для расплавленного металла шва, и поэтому при сварке происходит окисление и азотирование наплавленного металла. Шов получается хрупкий, пористый, с различными неметаллическими включениями. Поэтому электроды с тонким покрытием используют при выполнении

неответственных сварных швов.

Электроды с толстым покрытием применяют для получения сварных соединений высокого качества. В состав покрытия входит ряд материалов, которые выполняют определенные функции при сварке. Покрытие образуется из хорошо размолотых и перемешанных материалов, связанных жидким стеклом и нанесенных на стержни под давлением слоем до 2 мм на специальном прессе.

Применяемые для электродного покрытия материалы разделяют на группы в соответствии с их функциями:

1, **Ионизирующие вещества** для снижения эффективного потенциала ионизации, что обеспечивает стабильное горение дуги. В качестве ионизирующих компонентов в покрытия

вводят такие вещества, как мел, мрамор, поташ, полевой шпат и др.

2. **Газообразующие вещества**, которые при сварке разлагаются или сгорают, выделяя большое количество газов, создающих в зоне дуги газовую оболочку. Благодаря этой оболочке металл шва предохраняется от воздействия атмосферного кислорода и азота. Такими газообразующими веществами являются крахмал, древесная мука, целлюлоза и др.

3. **Раскисляющие вещества**, которые обладают большим сродством с кислородом и поэтому восстанавливают металл шва. Раскислителями служат ферросплавы, алюминий, графит и др.

4. **Шлакообразующие вещества**, создающие шлаковую защиту расплавленного металла шва, а также капель электродного металла, проходящих через дуговой промежуток. Кроме того, шлаки активно участвуют в металлургических процессах при сварке и способствуют получению качественного шва. В качестве шлакообразующих веществ применяют полевой шпат, кварц, мрамор, рутил, марганцевую руду и др.

5. **Легирующие вещества**, которые в процессе сварки переходят из покрытия в металл шва и легируют его для придания тех или иных физико-механических качеств. Хорошими легирующими веществами являются ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферро-титан. Реже применяют различные оксиды металлов (меди, хрома и др.).

6. **Связующие вещества**, предназначенные для замеса всех компонентов покрытия в виде пасты, а также для связывания пасты на сердечнике электрода и придания определенной прочности после высыхания покрытия. Таким веществом является жидкое стекло. Реже применяется декстрин.

Электродные покрытия (ГОСТ 9466-75) по виду составов подразделяются на кислые (А), рутиловые (Р), основные (Б), целлюлозные (Ц), прочие (П) и смешанные (БЦ). Если покрытие содержит железный порошок в количестве более 20%, к обозначению вида покрытия добавляют букву – Ж.

Кислые покрытия (АНО-2, СМ-5 и др.) состоят в основном из окислов железа и марганца (обычно в виде руд), кремнезема, ферромарганца. Образующиеся шлаки, обычно кислые, не содержат СаО и не очищают металл от S и P. В наплавленном металле много растворенного кислорода и неметаллических включений. В результате швы обладают пониженной стойкостью против горячих трещин и ударной вязкостью металла шва. В связи с высоким содержанием в покрытии ферромарганца и окислов железа они более токсичны чем другие виды покрытий.

Рутиловые покрытия (АНО-3, ОЗС-4, ОЗС-6, МР-3, ОК-46 и др.) имеют в своем составе преобладающее количество рутила TiO_2 (до 45%), а также алюмосиликаты (слюда, полевой шпат и др.) и карбонаты (мрамор, магнезит); ферромарганца в покрытии обычно меньше 10...15%. Газовая защита обеспечивается введением органических соединений (до 5%), а также разложением карбонатов. Покрытия этого вида обеспечивают высокое качество металла шва, малотоксичны и обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами.

Основные покрытия (УОНИИ-13/55, УП-1/45, ОЗС-2, ДСК-50 и др.) в качестве основы содержат карбонаты (мрамор, мел, магнезит) и плавиковый шпат; газовая защита обеспечивается разложением карбонатов. Эти покрытия слабо окислительные, поэтому позволяют легировать металл шва элементами с большим сродством к кислороду. Наличие большого количества соединений кальция, хорошо связывающих серу и фосфор и выводящих их в шлак, обеспечивает высокую чистоту наплавленного металла, его повышенные пластические свойства, а легирование марганцем и кремнием обеспечивает высокую прочность. При использовании этих электродов металл шва склонен к образованию пор при загрязнении кромок маслом и ржавчиной, а также при увеличении толщины покрытия и длины дуги. Этими электродами сваривают особо ответственные изделия из низкоуглеродистой и легированной сталей.

Целлюлозные покрытия (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗЦ-1 и др.) состоят из целлюлозы, органической смолы, ферросплавов, талька и др. Целлюлозные покрытия удобны при сварке в любом пространственном положении, но дают наплавленный металл пониженной пластичности. Они применяются главным образом для сварки низкоуглеродистой стали малой толщины.

Покрытия, обозначенные буквой П, не имеют явно выраженного кислого, основного, целлюлозного или рутилового состава. Смешанные покрытия обозначают двойной буквой, например, БЦ – покрытие основного типа со значительным количеством целлюлозы.

Покрытие электрода должно быть однородным, плотным, прочным, без трещин, наплывов, вздутий и эксцентricности относительно оси стержня. Прочность покрытия испытывают следующим образом: при падении плашмя на стальную плиту с высоты 1 м электродов диаметром менее 4 мм и с высоты 0,5 м электродов диаметром 4 мм и более покрытие не должно разрушаться. Влагостойкость покрытия проверяют погружением электрода в воду и выдержкой в течение 24 ч при температуре 15-25 °С.

По назначению электроды подразделяются:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм² – У (условное обозначение);
- для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву выше 60 кгс/мм² – Л;
- для сварки легированных теплоустойчивых сталей – Т;
- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами – В;
- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами – Н.

По толщине покрытия в зависимости от отношения $\frac{D}{d}$ (D – диаметр покрытия, d – диаметр электрода, определяемый диаметром стержня) электроды подразделяются:

- с тонким покрытием ($\frac{D}{d} \leq 1,20$) – М;
- со средним покрытием ($1,20 < \frac{D}{d} \leq 1,45$) – С;

- с толстым покрытием ($1,45 < \frac{D}{d} \leq 1,80$) – Д;
- с особо толстым покрытием ($\frac{D}{d} > 1,80$) – Г.

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки электроды подразделяются:

- для всех положений – 1;
- для всех положений, кроме вертикального сверху вниз – 2;
- для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх – 3;
- для нижнего и нижнего в лодочку – 4.

Все электроды разделяют по типам и маркам. ГОСТ 9467-75 предусматривает 14 типов электродов для сварки конструкционных сталей и 9 типов для сварки теплоустойчивых сталей. Типы электродов для сварки конструкционных сталей обозначают буквой Э, после которой следуют цифры минимального временного сопротивления наплавленного этим электродом металла в МПа, например электроды Э42 должны гарантировать минимальное временное сопротивление 420 МПа. Буква А, стоящая после цифр (например, Э46А), означает, что электроды этого типа обеспечивают более высокие пластические свойства наплавленного металла, чем электроды без буквы А.

Типы электродов для сварки теплоустойчивых сталей также обозначают буквой Э, после которой следуют цифры и буквы, характеризующие химический состав металла, наплавленного этими электродами. Например, обозначение электродов типа Э-10Х5МФ означает, что в наплавленном металле гарантируется содержание (%): углерода – 0,07-0,13; хрома – 4-5,5; молибдена – 0,35-0,65 и ванадия – 0,1-0,35.

ГОСТ 10051-75* устанавливает типы покрытых металлических электродов для дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Он предусматривает 44 типа электродов с аналогичным обозначением. Кроме регламентированного химического состава установлены требования к твердости наплавленного металла.

Первый индекс указывает среднюю твердость наплавленного металла. Второй индекс указывает, что твердость обеспечивается без ТО-1 или после ТО-2.

ГОСТ 10052-75* устанавливает типы и основные требования к электродам для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. В нем предусмотрены электроды для сварки коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких высоколегированных сталей, всего 49 типов.

Первый индекс – стойкость металла шва к межкристаллитной коррозии (0 – данные отсутствуют, 2 – металл не склонен к МКК методами АМ и АМУ, 3 – тоже методом Б, 4 – тоже

методом В и ВУ, 5 – методом Д по ГОСТ 6032-89).

Второй индекс указывает максимальную рабочую температуру, при которой регламентированы показатели длительной прочности шва.

Третий индекс указывает максимальную рабочую температуру сварных соединений при сварке жаростойких сталей.

Четвертый индекс указывает содержание ферритной фазы в шве.

Флюсы сварочные

Сварочными флюсами называют специально приготовленные неметаллические гранулированные порошки с размером отдельных зерен 0,25 ... 4 мм (в зависимости от марки флюса). Флюсы, расплавляясь, создают газовый и шлаковый купол над зоной сварочной дуги, а после химико-металлургического воздействия в дуговом пространстве и сварочной ванне образуют на поверхности шва шлаковую корку, в которую выводятся окислы, сера, фосфор, газы.

В зависимости от свариваемых металлов и требований, предъявляемых при этом к металлургическим процессам, флюсы могут иметь самые различные композиции. Флюсы принято разделять в зависимости от способа их изготовления, назначения и химического состава. По способу изготовления флюсы разделяют на неплавленные (керамические) и плавленные.

Керамические флюсы. Технология их изготовления сходна с технологией изготовления покрытий электродов. Сухие компоненты шихты замешивают на жидком стекле, полученную массу измельчают путем продавливания ее через сетку на специальном устройстве типа мясорубки, сушат, прокаливают при тех же режимах, что и электродные покрытия, и просеивают для получения частиц зерен определенного размера. Частицы сухой смеси компонентов могут скрепляться спеканием при повышенных температурах без расплавления. Полученные комки гранулируют до необходимого размера (так называемые спеченные флюсы).

Неплавленные флюсы могут быть приготовлены и в виде простой механической смеси (флюсы–смеси). Флюсы–смеси изготавливают механическим смешением крупинок различных материалов или флюсов. Большим недостатком механических смесей является склонность к разделению при транспортировке и в процессе сварки вследствие разницы в плотности, форме и размере крупинок. Поэтому механические смеси не имеют постоянных составов и технологических свойств и недостаточно надежно обеспечивают стабильное качество сварных швов.

Из группы неплавленных флюсов наибольшее распространение получили керамические флюсы, состав которых близок к составу покрытий электродов основного типа. Легирование металла такими флюсами достигается введением в них необходимых ферросплавов. Флюсы при изготовлении не подвергаются операции расплавления, поэтому количество и сочетание ферросплавов и других легирующих элементов может быть различным, что позволяет легко получать любой требуемый состав металла шва.

Эта особенность керамических флюсов является главным их преимуществом. Однако при использовании таких флюсов химический состав металла шва сильно зависит от режима сварки. Изменение величины сварочного тока, и особенно напряжения дуги, изменяет соотношение масс расплавленных флюса и металла, а следовательно, и состав металла шва, который может быть неоднородным даже по длине шва. Керамические флюсы обладают и другим серьезным

недостатком - легко разрушаются вследствие малой механической прочности его частиц, что делает их разными по размерам. Основная область их использования - сварка высоколегированных специальных сталей и наплавочные работы.

Плавленные флюсы представляют собой сплавы оксидов и солей металлов. Процесс изготовления их включает следующие стадии: расчет и подготовку шихты, выплавку флюса, грануляцию, сушку после мокрой грануляции и просеивание. Предварительно измельченные и взвешенные в заданной пропорции компоненты смешивают и загружают в дуговые или пламенные печи. После расплавления и выдержки, необходимой для завершения реакций, жидкий флюс при температуре около 1400 °С выпускают из печи.

Грануляцию можно осуществлять сухим и мокрым способами. При сухом способе флюс выливают в металлические формы, после остывания отливку дробят в валках до крупки размерами 0,1 ... 3 мм, затем просеивают. Сухую грануляцию применяют для гигроскопичных флюсов (содержащих большое количество фтористых и хлористых солей). Преимущественно это флюсы для сварки алюминиевых и титановых сплавов. При мокром способе грануляции выпускаемый из печи тонкой струей жидкий флюс направляют в бак с проточной водой. В некоторых случаях струю флюса дополнительно над поверхностью воды разбивают сильной струей воды.

Высушенную при температуре 250 ... 350 °С массу дробят и пропускают через два сита с 16 и 400 отверстиями на 1 см². Остаток на втором сите представляет собой готовый флюс. Обычно это неровные зерна от светло-серого до красно-бурого или коричневого цвета (в зависимости от состава).

Хранят и транспортируют флюсы в стальных бочках, полиэтиленовых мешках и другой герметичной таре.

Принципиальное отличие плавного флюса от керамического состоит в том, что плавный флюс не может содержать легирующих элементов в чистом виде, в процессе выплавки они неизбежно окислятся. Легирование плавными флюсами происходит путем восстановления элементов из окислов, находящихся во флюсе.

В основу классификации флюсов по химическому составу положено содержание в них оксидов и солей металлов. Различают окислительные флюсы, содержащие в основном оксиды MnO и SiO₂. Для получения необходимых свойств флюса в него вводят и другие составляющие, например плавиковый шпат, а также весьма прочные оксиды CaO, MgO, Al₂O₃, которые в сварочных условиях практически не реагируют с металлом.

Чем больше содержится во флюсе MnO и SiO₂, тем сильнее флюс может легировать металл кремнием и марганцем, но и одновременно тем сильнее он окисляет металл. Поэтому окислительные флюсы преимущественно применяют при сварке углеродистых и низколегированных сталей. Безокислительные флюсы практически не содержат оксидов кремния и марганца или содержат их в небольших количествах. В них входят фториды CaF₂ и прочные оксиды металлов. Их преимущественно используют для сварки высоколегированных сталей.

Бескислородные флюсы целиком состоят из фторидных и хлоридных солей металлов, а также других составляющих, не содержащих кислород. Их используют для сварки химически активных металлов (алюминия, титана и др.).

В связи с широким применением плавящихся флюсов на основные марки флюсов существует ГОСТ 9087-81 (в ред. 1990 г.) "Флюсы сварочные плавящиеся", в котором регламентирован химический состав 21 марки плавящихся флюсов, указаны цвет, строение и размеры зерна и даны рекомендации по области их применения.

Строение зерен флюса зависит от состава расплава флюса, степени перегрева в момент выпуска в воду, в связи с чем флюс может получиться плотным, с прозрачными зернами - "стекловидный", либо пористым, рыхлым - "пемзовидный". Пемзовидный флюс при том же составе имеет в 1,5 ... 2 раза меньший удельный вес. Эти флюсы хуже защищают металл от действия воздуха, но обеспечивают лучшее формирование швов при больших силах тока и скоростях сварки.

Флюсы различают также и по размеру зерен. Так, флюсы АН-348-А, ОСЦ-45, АН-20С, АН-26П имеют размер зерен 0,35 ... 3 мм; флюсы АН-348-АМ, ОСЦ-45-М, ФЦ-9, АН-20С 0,25 ... 1,6 мм; флюсы АН-8, АН-22 и АН-26С - 0,35 ... 4 мм и флюс АН-26-СП - 0,25 ... 4 мм. Стекловидные флюсы с размером зерен не более 1,6 мм предназначены для сварки электродной проволокой диаметром не свыше 3 мм.

В обозначении марки флюса буквы означают: М - мелкий, С - стекловидный, П - пемзовидный, СП - смешанный.

Пример условного обозначения флюса по стандарту: флюс АН-348-АМ - ГОСТ 9087-81.

Защитные газы.

Защитные газы делятся на две группы: химически инертные и активные. Газы первой группы с металлом, нагретым и расплавленным, не взаимодействуют и практически не растворяются в нем. При использовании этих газов дуговую сварку можно выполнять плавящимся или неплавящимся электродом. К химически инертным газам, используемым при сварке, относятся аргон и гелий.

Газы второй группы защищают зону сварки от воздуха, но сами либо растворяются в жидком металле, либо вступают с ним в химическое взаимодействие. Из химически активных газов основное значение имеет углекислый газ. Ввиду химической активности углекислого газа по отношению к нагретому вольфраму (окисление и разрушение вольфрама) для дуговой сварки в углекислом газе используют плавящиеся электроды или неплавящиеся (угольные или

графитовые).

Аргон – газообразный чистый поставляется по ГОСТ 10157-79 (в ред. 1998 г.) двух сортов: высшего и первого. Содержание аргона соответственно равно: 99,99 %; 99,98 %. Хранится и транспортируется аргон в газообразном виде в стальных баллонах вместимостью 40 л под давлением 15 МПа. Баллон для хранения аргона окрашен в серый цвет, надпись зеленого цвета.

Аргон высшего сорта предназначен для сварки химически активных металлов (титана, циркония, ниобия) и сплавов на их основе. Аргон первого сорта рекомендуется для сварки неплавящимся электродом сплавов алюминия, магния и других металлов, менее чувствительных к примесям кислорода и азота.

Гелий – газообразный чистый поставляют по техническим условиям. Гелий для сварки марок А, Б и В содержит не менее 99,99 % чистого гелия, остальное примеси. Хранят и транспортируют гелий так же, как и аргон, в стальных баллонах при давлении 15 МПа. Цвет баллона коричневый, надпись белого цвета. В связи с тем, что гелий в 10 раз легче аргона, расход гелия при сварке увеличивается в 1,5 ... 3 раза.

Углекислый газ поставляется по ГОСТ 8050-85 (в ред. 1996 г.). Для сварки используют сварочную углекислоту высшего и первого сортов, которые отличаются лишь содержанием паров воды (соответственно 0,037 и 0,184 г/см³ при 20 °С и давлении 0,1 МПа). Углекислоту транспортируют и хранят в стальных баллонах вместимостью 40 л окрашенных в черный цвет, надписи желтого цвета.

При применении углекислого газа вследствие большого количества свободного кислорода в газовой фазе сварочная проволока должна содержать дополнительное количество легирующих элементов с большим сродством к кислороду, чаще всего Si и Mn (сверх того количества, которое требуется для легирования металла шва). Наиболее широко применяется проволока Св-08Г2С.

При сварке плавящимся электродом значительное влияние на характер переноса электродного металла, производительность расплавления электрода, разбрызгивание, и форму проплавления оказывает состав защитного газа, в котором горит дуга. Хорошие перспективы по улучшению этих показателей дает применение смесей газов.

Инертные газовые смеси состоят, как правило, из аргона и гелия. Обладая большей плотностью, чем гелий, такие смеси лучше защищают металл сварочной ванны от воздуха. Особенно хорошими защитными свойствами обладает инертная газовая смесь, состоящая из 70 об. % аргона и 30 об.% гелия. Плотность такой смеси близка к плотности воздуха. Для сварки химически активных металлов находит применение инертная смесь, содержащая 60-65 об. % гелия, а остальное аргон.

Смеси инертных и активных газов находят все более широкое применение при сварке плавящимся электродом сталей различных классов ввиду их технологических преимуществ: меньшей по сравнению с активными газами интенсивностью химического воздействия на металл сварочной ванны, высокой устойчивости дугового процесса, благоприятного характера переноса электродного металла через дугу.

При сварке стали применение в качестве защитного газа чистого аргона сопровождается нестабильностью положения катодного пятна на поверхности изделия. В результате получаются плохо сформированные сварные швы.

Добавка к аргону небольшого количества кислорода или другого окислительного газа существенно повышает устойчивость горения дуги и улучшает качество формирования сварных швов. Наличие кислорода в атмосфере дуги способствует более мелкокапельному переносу электродного металла. Это обусловлено поверхностно-активным действием кислорода на железо и его сплавы.

Поэтому для сварки конструкционных сталей применяют не чистый аргон, а смеси с кислородом и углекислым газом $Ar-O_2(1-5\%)$, $Ar-CO_2(8-20\%)$, $Ar-CO_2(15-30\%)-O_2(5\%)$.

Для сварки аустенитных сталей плавящимся электродом рекомендуется применять аргон с добавкой 1 об. % кислорода. Такая газовая смесь обеспечивает устойчивый процесс сварки и вместе с тем слабо окисляет металл сварочной ванны. Смесь аргона с 2 или 5 об. % кислорода целесообразно применять при сварке ферритных сталей, когда требуется струйный перенос электродного металла. При сварке в таких газовых смесях качество формирования швов высокое, а разбрызгивание электродного металла очень невелико. Недостатками упомянутых смесей аргона с кислородом являются интенсивное излучение дуги и характерное для аргона пальцевидное проплавление основного металла.

Кислород входит в состав газовых смесей. Это бесцветный газ без запаха, поддерживает горение. Газообразный кислород поставляют в стальных баллонах под давлением 15 или 20 МПа окрашенные в синий цвет с надписью нанесенной черной краской.

Азот – бесцветный газ, без запаха, не горит и не поддерживает горение. Азот не растворяется в расплавленной меди и не взаимодействует с ней, а поэтому может быть использован при сварке меди в качестве защитного газа. Газообразный азот транспортируют в стальных баллонах под давлением до 15 МПа. Баллоны окрашены в черный цвет с коричневой полосой и надписью желтыми буквами.

8.3 Дуговая сварка плавящимся покрытым электродом

К электроду и свариваемому изделию для образования и поддержания сварочной дуги от источников сварочного тока подводится постоянный или переменный сварочный ток (рис. 8.13). Дуга расплавляет металлический стержень электрода, его покрытие и основной металл. Расплавляющийся металлический стержень электрода в виде отдельных капель, покрытых шлаком, переходит в сварочную ванну. В сварочной ванне электродный металл смешивается с расплавленным металлом изделия (основным металлом), а расплавленный шлак всплывает на поверхность.

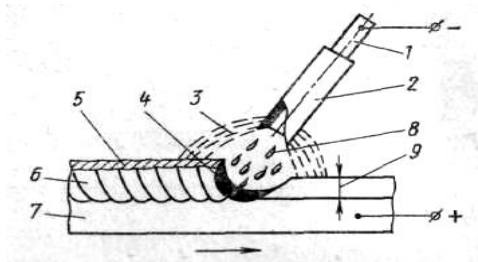


Рисунок 8.13 – Ручная дуговая сварка металлическим электродом с покрытием:

- 1 – металлический стержень; 2 – покрытие электрода; 3 – газовая атмосфера дуги; 4 – сварочная ванна;
- 5 – затвердевший шлак; 6 – закристаллизовавшийся металл шва; 7 – основной металл (изделие);
- 8 – капли расплавленного электродного металла; 9 – глубина проплавления

Глубина, на которую расплавляется основной металл, называется глубиной проплавления. Она зависит от режима сварки (силы сварочного тока и диаметра электрода), пространственного положения сварки, скорости перемещения дуги (торца электрода) по поверхности изделия, формы и размеров разделки свариваемых кромок и т.п. Величина тока в наибольшей степени определяет тепловую мощность дуги. С увеличением тока возрастают длина и ширина сварочной ванны, а также глубина проплавления металла. Размеры сварочной ванны обычно находятся в пределах: глубина до 7 мм, ширина 8-15 мм, длина 10-30 мм. Доля участия основного металла в формировании металла шва обычно составляет 15-35%.

Величину тока можно подсчитать, пользуясь эмпирическими формулами:

$$I_{ca} = Kd_э,$$

$$I_{ca} = (20 + 6d_э)d_э,$$

где $d_э$ – диаметр электрода, мм;

K – коэффициент, зависящий от диаметра электрода и имеющий следующие значения:

$d_э$, мм	1-2	3-4	5-6
K , А/мм	25-30	30-45	45-60

Если толщина металла менее $1,5 d_э$ при сварке в нижнем положении, то $I_{св}$ уменьшают на 10–15 % по сравнению с расчетным. Если толщина металла более $3d_э$, то $I_{св}$ увеличивают на 10–15 % по сравнению с расчетным. При сварке на вертикальной плоскости $I_{св}$ уменьшают на 10–15 %, в потолочном положении – на 15–20 % по сравнению с нормально выбранной силой тока для сварки в нижнем положении.

Ввиду того, что от токоподпода в электрододержателе сварочный ток протекает по металлическому стержню электрода, стержень разогревается. Этот разогрев тем больше, чем дольше протекание по стержню сварочного тока и чем больше величина последнего. Это приводит к тому, что скорость расплавления электрода (количество расплавленного электродного металла) в начале и конце различна. В результате изменяется соотношение долей электродного и основного металлов, участвующих в образовании металла шва, а значит, и состав, и свойства металла шва, выполненного одним электродом. Это – один из недостатков ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Зажигание дуги производят прямым отрывом электрода после короткого замыкания – методом «впрыток» или скользящим движением конца электрода с кратковременным касанием изделия – методом «спички» (рис. 8.14).

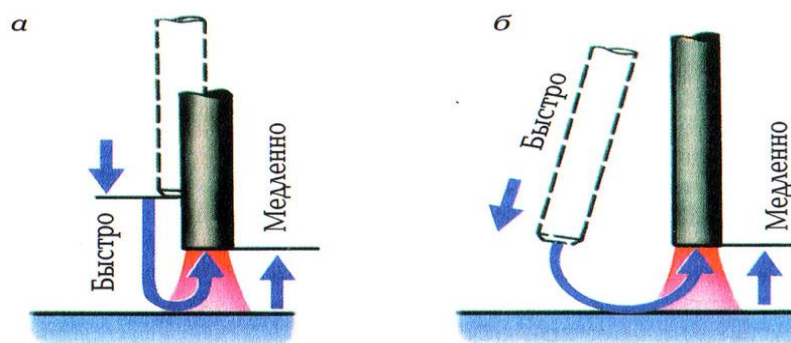


Рисунок 8.14 – Зажигание сварочной дуги: а – кратковременным прикосновением электрода к поверхности изделия; б – чирканьем конца электрода о поверхность изделия

При обрыве дуги повторное зажигание ее осуществляется впереди кратера на основном металле с возвратом к наплавленному металлу для вывода на поверхность загрязнений, скопившихся в кратере. После этого сварку ведут в нужном направлении.

При ручной сварке длина дуги в зависимости от марки и диаметра электрода, условий сварки составляет 0,5–1,2 диаметра электрода. Большое увеличение дуги приводит к снижению глубины провара, ухудшению качества шва, увеличению разбрызгивания, а иногда к порообразованию; значительное уменьшение – к ухудшению формирования и короткому замыканию.

При отсутствии поперечных колебательных движений конца электрода ширина валика равна $(0,8-1,5) d$ электрода. Такие швы (или валики) называют узкими, или ниточными. Их применяют при сварке тонкого металла и при наложении первого слоя в многослойном шве. Получение средних швов (или валиков), ширина которых обычно не более $(2-4) d$ электрода, возможно за счет колебательных движений конца электрода. Движения, не способствующие усиленному прогреву свариваемых кромок, показаны на а-б; способствующие усиленному прогреву обеих свариваемых кромок – на в-ж; способствующие усиленному прогреву одной кромки – на з-и; способствующие прогреву корня шва – на к (рис. 8.15).

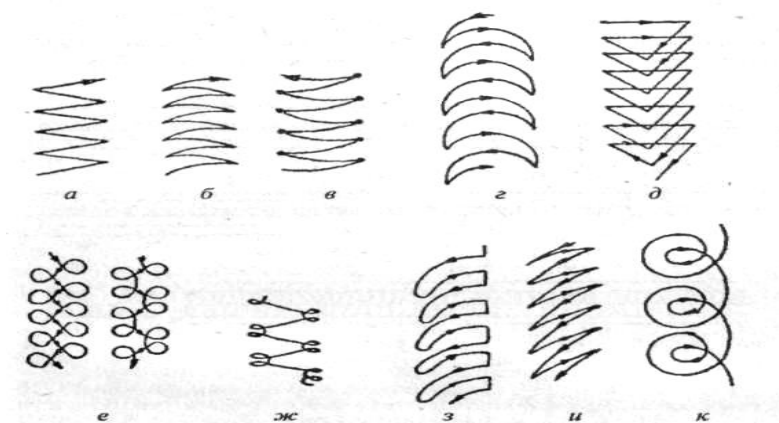


Рисунок 8.15 – Основные виды траектории поперечных движений рабочего конца электрода

Технология ручной дуговой сварки

Существуют различные способы сварки швов. Выбор их зависит от длины шва и толщины свариваемого металла. Условно принято швы длиной до 250 мм называть короткими, 250-1000 мм – средними, более 1000 мм – длинными.

Короткие швы сваривают на проход, т.е. при неизменном направлении сварки, от одного конца шва к другому; швы средней длины – от середины соединения к концам; длинные швы – обратноступенчатой сваркой, при которой сварной шов выполняется следующими один за другим участками в направлении, обратном приращению шва. Длина ступени (участка) принимается в пределах 100-350 мм, причем более короткие ступени назначают при сварке тонкого металла и более длинные – при сварке толстого металла.

Обратноступенчатая сварка ведется преимущественно при общем направлении А от середины к концам и может выполняться одним или двумя сварщиками. При многослойных швах также используется обратноступенчатая сварка, при этом смежные участки вышележащих слоев выполняют в направлении, обратном сварке нижележащих швов. Концы швов смежных участков должны быть смещены относительно друг друга на 25-30 мм.

Стыковые соединения без скоса кромок сваривают уширенным швом с одной или двух сторон стыка. Стыковые соединения с разделкой кромок выполняют однослойными (однопроходными) или многослойными (многопроходными), в зависимости от толщины металла

и формы подготовки кромок (рис. 8.16).

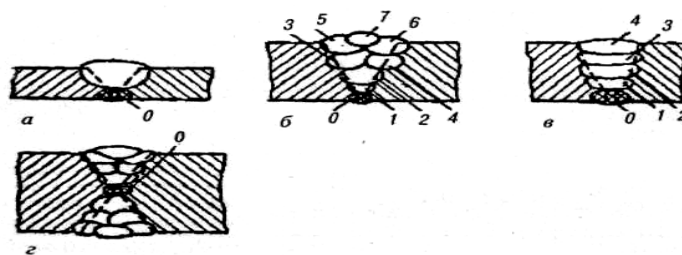


Рисунок 8.16 – Сварка стыковых швов: а-з – формы поперечных сечений швов; 1-7 – порядок выполнения слоев шва; 0 – подварочный шов

Сварку многослойных швов начинают, тщательно проваривая корень шва электродом диаметром не более 4 мм, а последующие швы наплавляют уширенными валиками, используя электроды большего диаметра.

Сварка металла большой толщины

С увеличением толщины металла (20 мм и более) в сварных соединениях заметно возрастают объемные сварочные напряжения, которые создают опасность возникновения и развития в швах трещин. Во избежание указанных явлений швы толстолистовой стали выполняют блочным и каскадным способами. При блочном методе весь шов по длине делится на равные участки – блоки длиной около 1 м, каждый блок заваривает определенный сварщик. Каскадный метод заключается в сварке участков по 200 мм, на которые разбит весь шов таким образом, чтобы по окончании первого слоя первого участка без остановки продолжать сварку первого слоя на соседнем участке. Сварка «горкой» является разновидностью каскадного метода и ведется двумя сварщиками одновременно от середины к краям.

При сварке толстого металла не рекомендуется делать каждый слой «напроход», так как это может привести к значительным деформациям и появлению трещин в первых слоях. Для предотвращения образования трещин при сварке толстого металла накладывать слои следует на еще не остывшие предыдущие слои.

8.4 Дуговая сварка в защитных газах

Сварка в защитных газах нашла широкое применение в промышленности. Этим способом можно соединять вручную, полуавтоматически или автоматически в различных пространственных положениях разнообразные металлы и сплавы толщиной от десятых долей до десятков миллиметров.

Сущность способа. При сварке в зону дуги через сопло непрерывно подается защитный газ. Теплотой дуги расплавляется основной металл и, если сварку выполняют плавящимся электродом, расплавляется и электродная проволока. Расплавленный металл сварочной ванны, кристаллизуясь, образует шов. При сварке неплавящимся электродом электрод не расплавляется,

а его расход вызван испарением металла или частичным оплавлением при повышенном сварочном токе.

Образование шва происходит за счет расплавления кромок основного металла или дополнительно вводимого присадочного металла. В качестве защитных газов применяют инертные (аргон и гелий) и активные (углекислый газ, водород, кислород и азот) газы, а также их смеси ($Ar + He$; $Ar + CO_2$; $Ar + O_2$; $CO_2 + O_2$ и др.). По отношению к электроду защитный газ можно подавать центрально или сбоку (рис. 8.17).

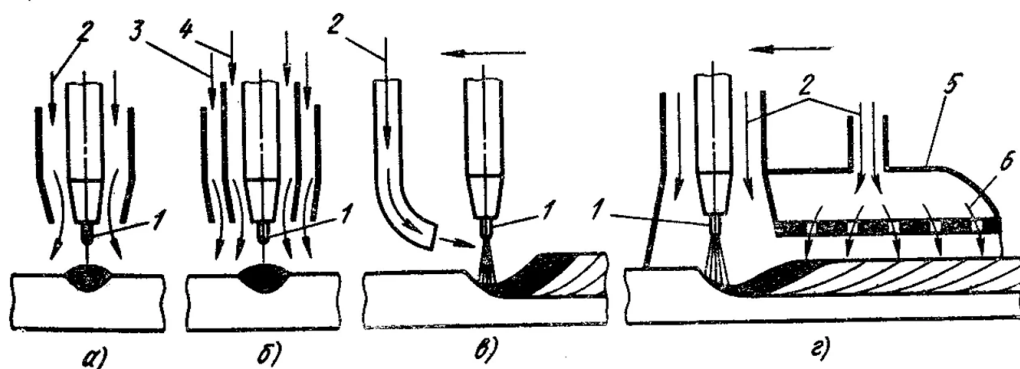


Рисунок 8.17 – Подача защитных газов в зону сварки: а – центральная одним concentрическим потоком; б – центральная двумя concentрическими потоками; в – боковая; г – в подвижную камеру (насадку); 1 – электрод; 2 – защитный газ; 3,4 – наружный и внутренний потоки защитных газов; 5 – насадка; 6 – распределительная сетка

Сбоку газ подают при больших скоростях сварки плавящимся электродом, когда при центральной защите надежность защиты нарушается из-за обдувания газа неподвижным воздухом. Сквозняки или ветер при сварке, сдувая струю защитного газа, могут резко ухудшить качество сварного шва. В некоторых случаях, особенно при сварке вольфрамовым электродом, для получения необходимых технологических свойств дуги, а также с целью экономии дефицитных и дорогих инертных газов используют защиту двумя concentрическими потоками газа.

Для сварки тугоплавких и активных металлов, часто выполняемой вольфрамовым электродом, для улучшения защиты нагретого и расплавленного металлов от возможного подсоса в зону сварки воздуха используют специальные камеры (сварка в контролируемой атмосфере). Детали помещают в специальные камеры, откачивают воздух до создания вакуума (до 10^{-4} мм рт. ст.) и заполняют инертным газом высокой чистоты. Сварку выполняют вручную или автоматически с дистанционным управлением.

Для сварки в контролируемой атмосфере крупногабаритных изделий находят применение обитаемые камеры объемом до 450 м^3 . Сварщик находится внутри камеры в специальном скафандре с индивидуальной системой дыхания. Инертный газ, заполняющий камеру, регулярно очищается и частично заменяется. Для доступа сварщика в камеру и подачи необходимых материалов имеется система шлюзов.

Техника сварки неплавящимся электродом.

В настоящее время сварка угольным электродом находит ограниченное применение. В качестве защитного газа в этом случае используют углекислый газ. Хорошие результаты достигаются при автоматической сварке оплавлением отбортованных кромок при изготовлении канистр на специальных установках. Это объясняется образованием окиси углерода (СО) при взаимодействии углекислого газа с твердым углеродом. Окись углерода – эффективный защитный газ, так как он не растворяется в металле и, восстанавливая окислы, улучшает качество металла шва.

При применении вольфрамового электрода в качестве защитных используют инертные газы или их смеси и постоянный или переменный ток. Перед сваркой на постоянном токе рабочий конец электрода обычно затачивают на конус с углом 60° на длине двух-трех диаметров.

При применении вольфрамового электрода в качестве защитных используют инертные газы или их смеси и постоянный или переменный ток. Лучшие результаты при сварке большинства металлов дает применение электродов не из чистого вольфрама, а иттрированных или лантанированных. Добавка в вольфрам при изготовлении электродов 1,5 ... 2 % оксидов иттрия и лантана повышает их стойкость и допускает применение повышенных на 15 % сварочных токов. Перед сваркой рабочий конец электрода обычно затачивают на конус с углом 60° на длине двух-трех диаметров. Форма заточки электрода влияет на форму и размеры шва. С уменьшением угла заточки и диаметра притупления в некоторых пределах глубина проплавления возрастает.

Технологические свойства дуги в значительной мере определяются родом и полярностью сварочного тока. При прямой полярности на изделии выделяется до 70 % теплоты дуги, что обеспечивает глубокое проплавление основного металла. При обратной полярности напряжение дуги выше, чем при прямой полярности. На аноде – электроде выделяется большое количество энергии, что приводит к значительному его разогреву и возможному оплавлению рабочего конца. При использовании переменного тока полярность электрода и изделия меняется с частотой тока. Поэтому количество теплоты, выделяющейся на электроде и изделии, примерно одинаково.

Для сварки тонколистового металла находит применение импульсная дуга. Основной металл расплавляется дугой, горящей периодически отдельными импульсами постоянного тока (рис. 3.42, а) с определенными интервалами во времени. При большом перерыве в горении дуги (t_n) дуговой промежуток деионизируется, что приводит к затруднению в повторном возбуждении дуги. Для устранения этого недостатка постоянно поддерживается вторая, обычно маломощная дежурная дуга от самостоятельного источника питания.

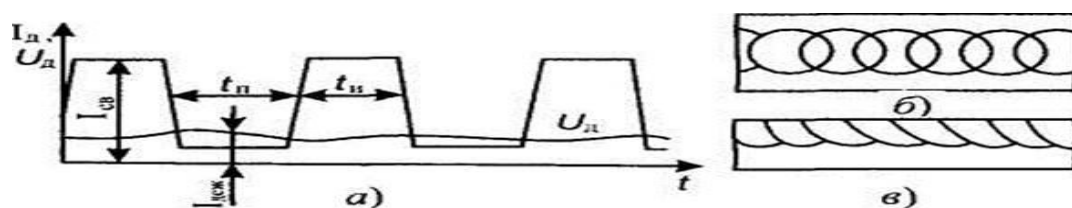


Рисунок 8.18 – Изменение сварочного тока и напряжения при импульсно-дуговой сварке вольфрамовым электродом (а): $I_{св}$ – сварочный ток; $I_{деж}$ – ток дежурной дуги; $t_п$ – время паузы; $t_и$ – время сварки ($t_и + t_п = t_ц$ – время цикла); швы в плоскости (б) и продольном сечении (в)

На эту дугу и накладывается основная импульсная дуга. Дежурная дуга, постоянно поддерживая термоэлектронную эмиссию с электрода, обеспечивает стабильное возникновение основной сварочной дуги.

Шов в этом случае состоит из отдельных перекрывающихся друг друга точек. Величина перекрытия зависит от толщины металла, силы сварочного тока и тока дежурной дуги, скорости сварки и т.д. Размеры шва в большей степени зависят от силы тока, чем от длительности его импульса. Данным способом сварку легко выполнять на весу без подкладок при хорошем качестве во всех пространственных положениях.

Сварка вольфрамовым электродом обычно целесообразна для соединения металла толщиной 0,1 ... 6 мм. Однако ее можно применять и для больших толщин. Сварку выполняют без присадки, когда шов формируется за счет расплавления кромок, и с дополнительным присадочным металлом, предварительно уложенным в разделку или подаваемым в зону дуги в виде присадочной проволоки. Угловые и стыковые швы во всех пространственных положениях выполняют вручную, полуавтоматически и автоматически.

При сварке активных металлов необходимо не только получить хороший провар в корне шва, но и обеспечить защиту от воздуха с обратной стороны расплавленного и нагретого металлов. Это достигается использованием медных или других подкладок с канавками, в которые подается защитный инертный газ. Эта же цель в некоторых случаях достигается при использовании флюсовых подушек.

При сварке труб или закрытых сосудов газ пропускают внутрь сосуда. Инертные газы, увеличивая поверхностное натяжение расплавленного металла, улучшают формирование корня шва. Поэтому их поддув используют при сварке сталей на весу. При сварке на весу, особенно без присадочного металла, следует тщательно поддерживать требуемый зазор между кромками.

При соединении встык металла толщиной до 10 мм ручную сварку ведут справа налево (левый способ) (рис. 8.19). При сварке металла меньшей толщины угол между горелкой и изделием устанавливают равным 60° . При сварке изделий больших толщин применяют правый способ; угол между горелкой и изделием, так же, как и при сварке угловых соединений, устанавливают равным 90° .

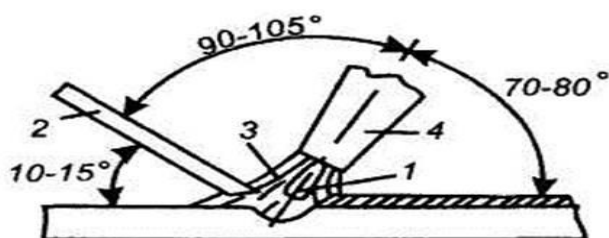


Рисунок 8.19 – Расположение горелки и присадочного прутка при ручной аргонодуговой сварке: 1 – электрод; 2 – присадочный пруток; 3 – защитный газ; 4 – сопло

Присадочный пруток при ручной сварке тонколистового материала вводят не в столб дуги, а несколько сбоку возвратно-поступательными движениями; при сварке металла большей толщины – поступательно-поперечными перемещениями. При сварке многослойных швов

отдельные валики рекомендуется выполнять не на всю ширину разделки (многопроходными).

При автоматической и полуавтоматической сварке электрод располагают перпендикулярно к поверхности изделия. Угол между ним и присадочной проволокой (обычно диаметром 2 ... 4 мм) должен приближаться к 90° . В большинстве случаев направление сварки выбирают таким, чтобы присадочный пруток находился впереди дуги (подавался в головную часть сварочной ванны).

Техника сварки плавящимся электродом. В силу физических особенностей стабильность дуги и ее технологические свойства выше при использовании постоянного тока обратной полярности. При использовании постоянного тока прямой полярности количество расплавленного электродного металла увеличивается на 25 ... 30 %, но резко снижается стабильность дуги и повышаются потери металла на разбрызгивание. Применение переменного тока невозможно из-за нестабильного горения дуги.

При сварке плавящимся электродом шов образуется за счет проплавления основного металла и расплавления дополнительного металла – электродной проволоки. Поэтому форма и размеры шва помимо прочего (скорости сварки, пространственного положения электрода и изделия и др.) зависят также от характера расплавления и переноса электродного металла в сварочную ванну. Характер переноса электродного металла определяется в основном материалом электрода, составом защитного газа, плотностью сварочного тока и рядом других факторов.

При традиционном способе сварки можно выделить три основные формы расплавления электрода и переноса электродного металла в сварочную ванну. Процесс сварки с периодическими короткими замыканиями характерен для сварки электродными проволоками диаметром 0,5 ... 1,6 мм при короткой дуге с напряжением 15 ... 22 В. После очередного короткого замыкания (1 и 2 на рис. 8.20, а) силой поверхностного натяжения расплавленный металл на торце электрода стягивается в каплю. В результате длина и напряжение дуги становятся максимальными.

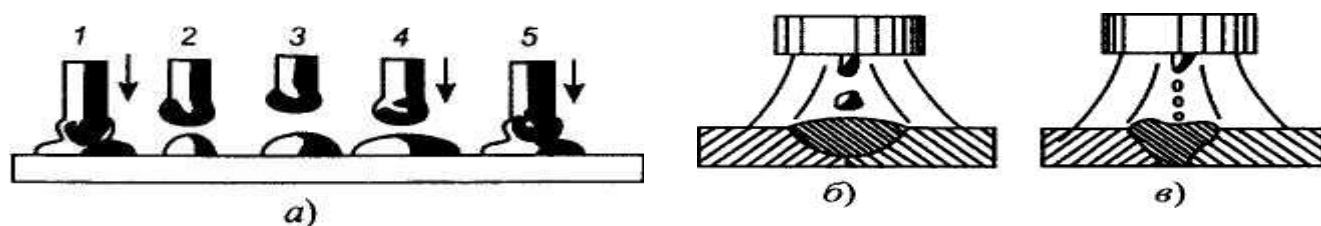


Рисунок 8.20 – Основные формы расплавления и переноса электродного металла:
а - короткими замыканиями; б - капельный; в – струйный

Во все стадии процесса скорость подачи электродной проволоки постоянна, а скорость ее плавления изменяется и в периоды 3 и 4 меньше скорости подачи.

Поэтому торец электрода с каплей приближается к сварочной ванне (длина дуги и ее напряжение уменьшаются) до короткого замыкания (5). При коротком замыкании резко возрастает сварочный ток и как результат этого увеличивается сжимающее действие электромагнитных сил, совместное действие которых разрывает перемычку жидкого металла между электродом и изделием. Во время короткого замыкания капля расплавленного электродного металла переходит в сварочную ванну. Далее процесс повторяется.

Увеличение плотности сварочного тока и длины (напряжения) дуги ведет к изменению характера расплавления и переноса электродного металла, перехода от сварки короткой дугой с короткими замыканиями к процессу с редкими короткими замыканиями или без них. В сварочную ванну электродный металл переносится нерегулярно, отдельными крупными каплями различного размера (рис. 3.48, б), хорошо заметными невооруженным глазом. При этом ухудшаются технологические свойства дуги, затрудняется сварка в потолочном положении, а потери электродного металла на угар и разбрызгивание возрастают до 15 %.

Для улучшения технологических свойств дуги применяют периодическое изменение ее мгновенной мощности – импульсно-дуговая сварка (рис. 8.21).

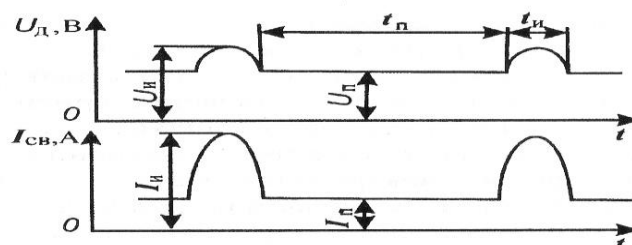


Рисунок 8.21 – Изменение тока и напряжения дуги при импульсно-дуговой сварке

Теплота, выделяемая основной дугой, недостаточна для плавления электродной проволоки со скоростью, равной скорости ее подачи. Вследствие этого длина дугового промежутка уменьшается. Под действием импульса тока происходит ускоренное расплавление электрода, обеспечивающее формирование капли на его конце. Резкое увеличение электродинамических сил сужает шейку капли и сбрасывает ее в направлении сварочной ванны в любом пространственном положении.

С целью управления характером переноса электродного металла предпринимаются попытки воздействовать на него импульсной подачей электродной проволоки. Это нестационарный процесс. Он сопровождается соответствующим изменением сварочного тока и напряжения дуги. Импульсная подача позволяет расширить диапазон значений рабочих токов, в том числе при сварке с короткими замыканиями. Частота коротких замыканий может быть увеличена в 3 ... 5 раз по сравнению с непрерывной подачей проволоки. Однако промышленное

применение этого способа затруднено из-за отсутствия надежных механизмов импульсной подачи проволоки.

При достаточно высоких плотностях постоянного по величине (без импульсов или с импульсами) сварочного тока обратной полярности и при горении дуги в инертных газах может наблюдаться очень мелкокапельный перенос электродного металла. Название «струйный» он получил потому, что при его наблюдении невооруженным глазом создается впечатление, что расплавленный металл стекает в сварочную ванну с торца электрода непрерывной струей. Изменение характера переноса электродного металла с капельного на струйный происходит при увеличении силы сварочного тока до «критического» для данного диаметра электрода.

Величина критического тока уменьшается при активировании электрода (нанесении на его поверхность тем или иным способом некоторых легкоионизирующих веществ), увеличении вылета электрода. Изменение состава защитного газа также влияет на величину критического тока. Например, добавка в аргон до 5% кислорода снижает значение критического тока. При сварке в углекислом газе без применения специальных мер получить струйный перенос электродного металла невозможно. Он не получен и при использовании тока прямой полярности.

Более перспективным является способ управляемого переноса расплавленного металла с использованием быстродействующего инверторного сварочного источника. При традиционном способе сварки перенос электродного металла осуществляется сериями коротких замыканий, имеющих хаотичный характер. Процесс отделения образующейся капли происходит при высоком уровне сварочного тока. Это обуславливает нестабильность процесса и повышенное разбрызгивание. При управляемом процессе переноса по изменению напряжения дуги электронный микропроцессорный модуль управляет быстродействующим инверторным источником сварочного тока. В течение всего цикла переноса капли сила сварочного тока жестко зависит от фазы ее формирования и перехода в сварочную ванну. В момент контакта капли расплавленного металла, находящейся на торце электрода, с поверхностью сварочной ванны (напряжение дуги близко к нулю) сварочный ток уменьшается до минимума (до 10 А). Поэтому в перемычке капли не возникает больших электромагнитных сжимающих сил (меньше разбрызгивание) и она просто переливается в сварочную ванну. Процесс сварки проходит спокойно.

Расчет параметров режима механизированной и автоматической сварки в защитных газах плавящимся электродом

Форма и геометрические размеры шва определяются параметрами: глубиной проплавления h , шириной шва e , полной высотой шва H , коэффициентом формы провара $\Psi_{пр}$, коэффициентом формы усиления шва $\Psi_{у,}$, высотой усиления g , площадями поперечного сечения наплавленного электродного металла F_H , переплавленного основного металла F_o , сварного шва $F_{ш}$ и др.

Основными параметрами механизированной сварки в защитных газах являются диаметр электродной проволоки $d_э$, сварочный ток $I_{св}$, плотность тока j , напряжение дуги $U_{д,}$ скорость

подачи электродной проволоки $V_{пп}$ и расход защитного газа Q_2 .

Неконтролируемыми параметрами, которые зависят от техники сварки и квалификации сварщика, являются скорость сварки $V_{св}$, вылет электрода $L_э$, угол наклона горелки, ее колебательные движения поперек шва. Основные параметры режима взаимосвязаны между собой, т.е. при изменении одного из них возникает необходимость корректировки и других параметров. Зависимость между основными параметрами режима можно выразить аналитически.

При автоматической сварке основными параметрами являются скорость сварки $V_{св}$ и погонная энергия сварки q_n .

Исходными данными для расчета являются толщина свариваемого металла, тип соединения и способ сварки, которые определяют род тока, полярность, вид защитного газа. При этом необходимо учесть, что максимальное сечение однопроходного шва обычно не превышает 70 мм²; максимальная толщина металла, свариваемого за один проход при односторонней сварке при сборке без зазора, 10 мм, с разделкой кромок – 18 мм; максимальная толщина металла, свариваемого за один проход при двухсторонней сварке без зазора, 16 мм, с разделкой кромок - 24 мм и 50 мм при сборке с гарантированным зазором.

Расчетная глубина проплавления h при односторонней однопроходной сварке равна толщине металла δ ; при двухсторонней однопроходной сварке и односторонней с ограниченной глубиной проплавления – $0,65\delta$. Для стыковых соединений, собранных с гарантированным зазором, с разделкой кромок, а также для угловых, тавровых и нахлесточных соединений величину h рассчитывают по формуле

$$h = H - \frac{F_{np}}{0,73e},$$

где H – высота шва, мм; F_{np} – площадь проплавленного металла, мм²; e – ширина шва, мм.

Сварочные проволоки независимо от их химического состава выпускаются следующих диаметров: 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 и 5,0. Проволоки диаметром более 5 мм при сварке в защитных газах применяются крайне редко. При механизированной сварке диаметр электродной проволоки $d_э$ выбирается в пределах от 0,8 до 2 мм в зависимости от толщины свариваемого металла или величины катета углового шва.

При сварке в защитных газах, в частности в CO_2 , напряжение на дуге влияет на производительность плавления электродной проволоки. С ростом напряжения на дуге коэффициенты α_p и α_n снижаются, а потери на угар и разбрызгивание увеличиваются. Снижение коэффициента расплавления объясняется уменьшением подогрева вылета электродной проволоки. Подогрев при неизменном расстоянии от основного металла до мундштука с ростом напряжения дуги уменьшается за счет увеличения длины дуги. При этом возрастают потери тепла на излучение и конвекцию в окружающее пространство. Оптимальное напряжение дуги зависит от диаметра проволоки и определяется из выражения

$$U_э = 8 \cdot (d_э + 1,6).$$

Сварочный ток выбирается из условия обеспечения наибольшей устойчивости и стабильности процесса. При сварке в CO_2 наибольшая устойчивость процесса обеспечивается на постоянном токе обратной полярности. Сварка на прямой полярности или на переменном токе

снижает устойчивость процесса, увеличивает склонность к порообразованию в шве и уменьшает проплавление основного металла. Величину сварочного тока следует выбирать так, чтобы обеспечить определенное соотношение между силой тока и напряжением на дуге. Это связано с обеспечением мелкокапельного переноса электродного металла в дуге, характеризующегося наилучшим формированием шва и наименьшим разбрызгиванием. Для каждого диаметра электрода существуют пределы (верхний и нижний) сварочного тока. Нижний предел определяется устойчивостью горения сварочной дуги, а верхний – перегревом и постоянством вылета электрода для обеспечения возможности его направления по свариваемому стыку. Пределы сварочного тока могут также изменяться в зависимости от типа соединения и пространственного положения сварки. Ориентировочное значение тока можно рассчитать по формуле

$$\frac{I_{св}}{U_0} = \sqrt{d_э} \cdot K,$$

где K – коэффициент, находящийся в пределах 8–12.

Скорость подачи электродной проволоки можно рассчитать по формуле ниже или выбрать по таблице 8.1.

$$V_{пм} = 1,9 \frac{I_{св}}{d_э^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{I_{св}^2}{d_э^3}$$

Скорость сварки совместно со скоростью подачи электродной проволоки целиком определяют производительность процесса сварки, как по проплавлению основного металла, так и по производительности наплавки электродного металла. Однако при больших скоростях возможно образование таких дефектов, как непровар, несплавления, подрезы. При сварке на скоростях выше 80-100 м/ч длина сварочной ванны слишком увеличивается, что затрудняет ее защиту, в результате чего образуются поры. Значение скорости сварки при заданном токе определяем по формуле

$$V_{св} = \frac{A}{I_{св}},$$

где A – постоянная, зависящая от диаметра электродной проволоки, величина которой приведена в таблице 8.2.

Таблица 8.1

Скорость подачи проволоки в зависимости от ее диаметра и сварочного тока

Сварочный ток, А	Диаметр проволоки, мм					
	1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
Скорость подачи проволоки, м/ч						
180	300	-	-	-	-	-
200	420	190	90	-	-	-
250	600	270	120	-	-	-
300	780	340	150	60	-	-
350	940	430	180	75	-	-
400	1100	520	230	90	-	-
500	-	650	320	120	60	-
600	-	830	400	150	75	40
700	-	-	520	190	95	55
800	-	-	-	240	115	65
900	-	-	-	350	140	75
1000	-	-	-	-	170	90

1100	-	-	-	-	-	110
1200	-	-	-	-	-	130

Таблица 8.2

Значение коэффициента A в зависимости от диаметра электрода

$d_э, \text{мм}$	1,2	1,6	2	3	4
$A, \text{А·м/ч}$	$(2-5) \cdot 10^3$	$(5-8) \cdot 10^3$	$(8-12) \cdot 10^3$	$(12-16) \cdot 10^3$	$(16-20) \cdot 10^3$

Определяем погонную энергию при сварке:

$$q_n = \frac{0,24 \cdot I_{св} U_d K_u}{V_{св}}$$

где K_u – эффективный коэффициент использования тепла дуги при сварке в защитном газе.

Точность задания K_u в значительной степени определяет точность расчета размеров шва и режимов сварки. Его величина зависит от диаметра электрода, сварочного тока, напряжения на дуге, толщины металла, заглубления дуги от поверхности свариваемого изделия. Влияние каждого из параметров режима на K_u достаточно сложное, поэтому для его выбора используем таблицей 8.3.

Вычисляем плотность тока из выражения

$$j = \frac{4 \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_э^2}$$

Зная плотность тока, подсчитываем коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание по эмпирической формуле

$$\psi_{нм} = -4,72 + 17,5 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2$$

Выражение справедливо при плотности тока от 50 до 320 А/мм².

Таблица 8.3

Рекомендуемое значение K_u при сварке в защитных газах

Параметры режима сварки			K_u
$d_э, \text{мм}$	$I_{св}, \text{А}$	$U_d, \text{В}$	
Углекислый газ			
1,2	180	22	0,80
1,4	230	23	0,81
1,6	280	28	0,82
2,0	330	28	0,84
3,0	500	36	0,86
4,0	700	44	0,88
5,0	900	50	0,90
Аргон			
1,2	160	24	0,82
1,4	220	25	0,83
1,6	270	29	0,84
2,0	320	30	0,85
3,0	480	38	0,87
4,0	680	46	0,89
5,0	880	54	0,92

Расход защитного газа Q_2 при сварке в CO_2 принимается равным от 8 до 20 л/мин. Расход аргона берётся на 15-20 % больше, чем углекислого газа. Его можно выбрать в зависимости от диаметра электродной проволоки и величины сварочного тока из таблицы 8.4.

Таблица 8.4

Расход углекислого газа в зависимости от диаметра электродной проволоки и величины сварочного тока

$d_э$, мм	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0
$I_{св}$, А	60 - 140	80 - 220	150 - 320	160 - 380	180 - 450
Q_2 , л/мин	8 - 9	9 - 12	12 - 15	14 - 18	18 - 20

Вылет электрода L_3 принимается равным десяти диаметрам электродной проволоки $d_э$.

8.5 Дуговая сварка под флюсом

Наиболее широко распространен процесс с использованием одного электрода – однодуговая сварка. Сварочная дуга горит между голой электродной проволокой 1 и изделием, находящимся под слоем флюса 3 (рис.8.22). В расплавленном флюсе 5 газами и парами флюса и расплавленного металла образуется полость – газовый пузырь 4, в котором существует сварочная дуга. Давление газов в газовом пузыре в сочетании с механическим давлением, создаваемым дугой, оказывается достаточным для оттеснения жидкого металла из-под дуги, что улучшает теплопередачу от нее к основному металлу. Повышение силы сварочного тока увеличивает механическое давление дуги и глубину проплавления основного металла $h_{пр}$. Кристаллизация расплавленного металла сварочной ванны 7 приводит к образованию сварного шва 6. Затвердевший флюс образует шлаковую корку 8 на поверхности шва. Металлургические взаимодействия между расплавленным металлом и шлаком способствуют получению металла шва с требуемым химическим составом.

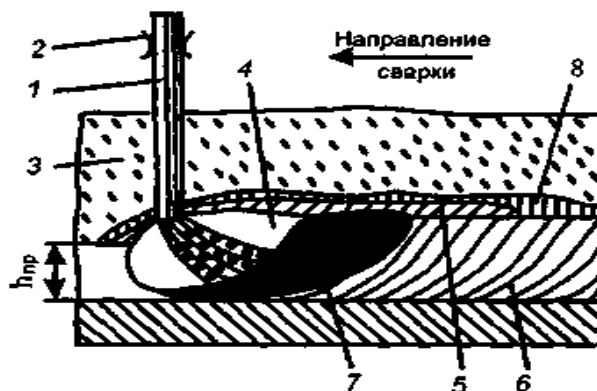


Рисунок 8.22 – Сварка под флюсом

В отличие от ручной дуговой сварки металлическим электродом при сварке под флюсом, так же, как и при сварке плавящимся электродом в защитных газах, токоподвод 2 к электродной проволоке осуществляется на небольшом расстоянии (вылет электрода) от дуги (до 70 мм). Это позволяет без перегрева электрода использовать повышенные сварочные токи (до 2000 А).

Сварку под флюсом можно осуществлять переменным и постоянным током. Подача

электродной проволоки в дугу и перемещение ее осуществляется специальными механизмами. Существуют разновидности сварки под флюсом, когда в некоторых случаях целесообразно применение двухдуговой или многодуговой сварки (рис. 8.23).

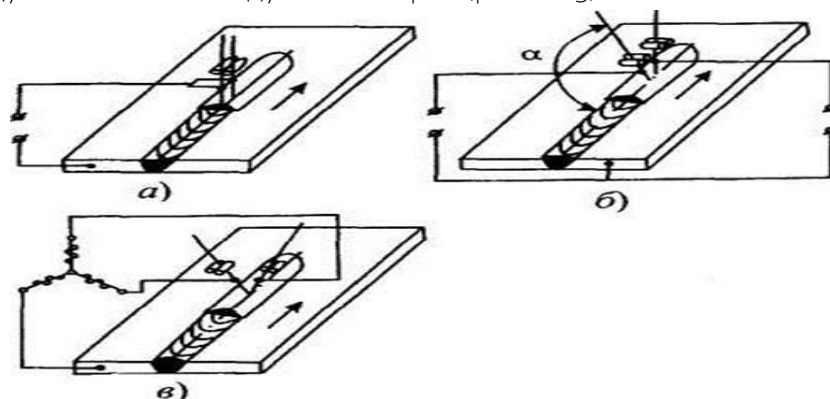


Рисунок 8.23 – Схемы образования шва при сварке: а - сдвоенным электродом; б - двухдуговой; в - трехфазной дуговой

Дуги могут гореть в общую или отдельные сварочные ванны (когда металл шва после первой дуги уже полностью закристаллизовался). При горении дуги в отдельные сварочные ванны оба электрода обычно перпендикулярны плоскости изделия. Изменяя расстояние между дугами, можно регулировать термический цикл сварки, что важно при сварке закаливающих сталей. Для питания дуг с целью уменьшения магнитного дутья лучше использовать разнородный ток (для одной дуги – переменный, для другой – постоянный).

Форма и размеры шва зависят от многих параметров режима сварки: величины сварочного тока, напряжения дуги, диаметра электродной проволоки, скорости сварки и др. Такие параметры, как наклон электрода или изделия, вылет электрода, грануляция флюса, род тока и полярность и т.п. оказывают меньшее влияние на форму и размеры шва.

С увеличением силы сварочного тока глубина и проплавление возрастает почти линейно до некоторой величины. Это объясняется ростом давления дуги на поверхность сварочной ванны, которым оттесняется расплавленный металл из-под дуги (улучшаются условия теплопередачи от дуги к основному металлу), и увеличением погонной энергии. Увеличение плотности сварочного тока (уменьшение диаметра электрода при постоянном токе) позволяет резко увеличить глубину проплавления. Это объясняется уменьшением подвижности дуги. Ширина шва при этом уменьшается.

Род и полярность тока оказывают значительное влияние на форму и размеры шва, что объясняется различным количеством теплоты, выделяющимся на катоде и аноде дуги. При сварке на постоянном токе прямой полярности глубина проплавления на 40-50%, а на переменном – на 15-20% меньше, чем при сварке на постоянном токе обратной полярности.

При увеличении напряжения дуги (длины дуги) увеличивается ее подвижность и возрастает доля теплоты дуги, расходуемая на расплавление флюса (количество расплавленного флюса). При этом растет ширина шва и глубина его проплавления остается практически постоянной.

Строение частиц флюса оказывают заметное влияние на форму и размеры шва. При

уменьшении насыпной массы флюса (пемзовидные флюсы) повышается газопроницаемость слоя флюса над сварочной ванной – это приводит к увеличению толщины прослойки расплавленного металла под дугой, а значит, и к уменьшению глубины проплавления.

Техника автоматической сварки. Перед началом автоматической сварки следует проверить чистоту кромок, правильность их сборки и направления электрода по оси шва. Металл повышенной толщины сваривают многослойными швами с необходимым смещением электрода с оси шва. Перед наложением последующего шва поверхность предыдущего тщательно зачищают от шлака и осматривают с целью выявления наличия в нем наружных дефектов.

В начале сварки, когда основной металл еще не прогрелся, глубина его проплавления уменьшена, в связи с чем эту часть шва обычно выводят на входную планку. По окончании сварки в месте кратера образуется ослабленный шов, поэтому процесс сварки заканчивают на выводной планке. Входную и выводную планки шириной до 150 мм и длиной (в зависимости от режима и толщины металла) до 250 мм закрепляют на прихватках до начала сварки. После сварки планки удаляют.

Для улучшения формирования корня шва в увеличенную по глубине формирующую канавку в медной подкладке можно засыпать флюс – так выполняют сварку на флюсомедной подкладке. Односторонняя сварка на флюсовой подушке (рис. 8.24) при плотном поджатии флюса обеспечивает полный провар кромок, хорошее формирование корня шва при меньшей точности сборки кромок толщиной 2 мм и выше. Флюс под стыком поджимается воздухом, подаваемым в шланг 3, а при сварке кольцевых швов - специальной гибкой лентой. Свариваемые листы от перекоса при поджатии флюса должны удерживаться специальными грузами или магнитным полем на специальных магнитных стендах.

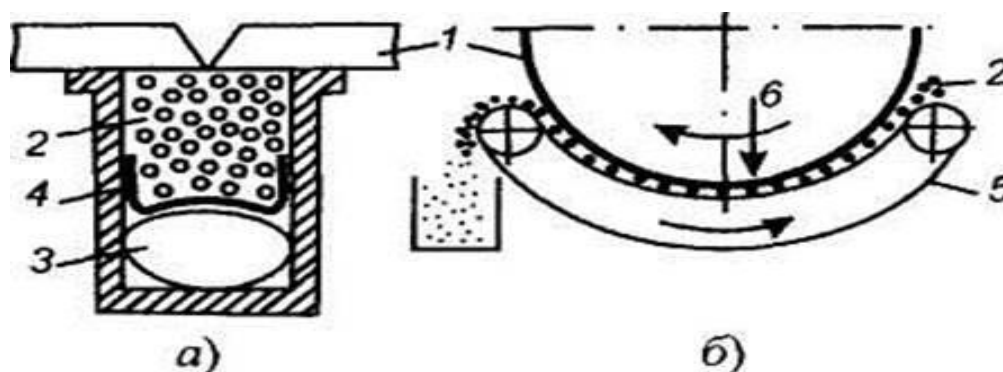


Рисунок 8.24 – Сварка на флюсовой подушке: а – плоских конструкций; б – внутренних кольцевых швов (стрелками указаны направления перемещений); 1 – изделие; 2 – флюс; 3 – воздушный шланг; 4 – лоток; 5 – профилированная гибкая лента, 6 – электрод

Формирование корня шва на флюсовой подушке позволяет выполнять автоматическую сварку однопроходных швов без разделки или с V-образной разделкой кромок на металле толщиной до 15 мм, корневого шва в многопроходных швах с V- или X-образной разделкой кромок, а также сварку по заданному повышенному зазору без разделки кромок металла толщиной до 50 мм. Применение этого способа в последние годы сокращается из-за трудности плотного поджатия флюса под стык по всей его длине. В местах его неплотного поджатия образуются

прожоги.

В односторонних швах не всегда обеспечивается хорошее формирование корня шва. Поэтому в ответственных конструкциях применяют сварку с двух сторон. Лучшие результаты достигаются при предварительной ручной или механизированной подварке корня шва и последующей сварке с обратной стороны швов. После кантовки изделия при первом основном проходе подварочный шов следует полностью переваривать. Подварочный шов часто служит сборочным вместо прихваток.

В зависимости от площади поперечного сечения шва и положения сварки угловые соединения можно выполнять без скоса или со скосом одной из кромок одно- и многослойными швами. Полный провар стыка без скоса кромок можно получить при толщине стенки в тавровом соединении не более 14 мм. Сварку угловых швов выполняют в положении "в лодочку" или наклонным электродом (рис. 8.25).

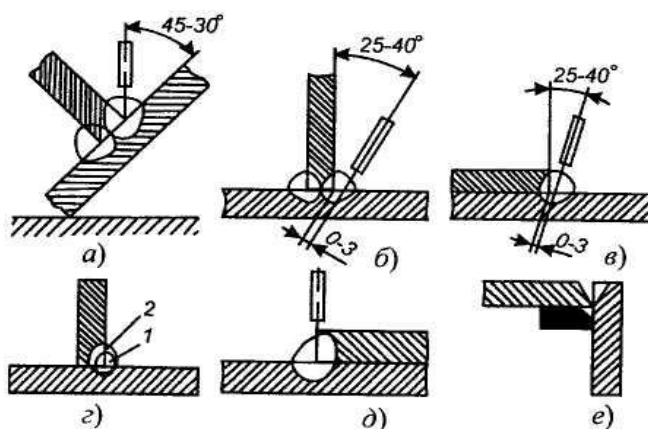


Рисунок 8.25 – Автоматическая сварка под флюсом угловых швов

При положении "в лодочку" (рис. 8.25, а) в один проход можно сваривать швы с катетом до 14 мм, наклонным электродом – до 6 мм. Соединение под сварку следует собирать с минимальным зазором для предупреждения вытекания в него расплавленного металла. При зазоре свыше 1,5 мм с обратной стороны первого шва необходима ручная или механизированная подварка. Подварочный шов должен быть полностью переварен при наложении основных швов. В практике применяют также заделку зазора с обратной стороны асбестовым шнуром, который впоследствии удаляют. В некоторых типах сварных соединений возможно применение медных подкладок (рис. 8.25, е).

Подобные же приемы применяют и при сварке наклонным электродом при зазоре в стыке свыше 2,5 мм. Для обеспечения полного провара стыка кромок сварку можно выполнять в несимметричную "лодочку" (рис. 8.25, а), когда угол между электродом и полкой тавра уменьшается до 30°. Этот же прием используют при различной толщине свариваемых элементов, когда уменьшается угол между электродом и более тонким элементом. При сварке тавровых соединений наклонным электродом трудно избежать подреза на вертикальной стенке соединения. Для предупреждения этого электрод смещают на полку (рис. 8.25, б, в). Последовательность сварки многопроходных швов указана на рисунке 8.25, г. Налесточные соединения при толщине верхнего листа до 8 мм сваривают вертикальным электродом с оплавлением верхней кромки (рис. 8.25, д)

8.6 Процесс сварки нагретым инструментом

Сущность и схемы процесса

Подвод тепловой энергии, необходимой для сварки термопластов, наиболее просто может происходить за счет контакта деталей с нагретым инструментом. Вид сварки, основанный на этом принципе, чаще всего называют сваркой нагретым инструментом. Можно встретить также термины «контактно-тепловая» или «термоконтактная сварка», подчеркивающие контактный способ передачи теплоты от инструмента к деталям.

В контакт с нагретым инструментом можно вводить как поверхности, подлежащие сварке (рис. 8.26), так и внешние поверхности деталей (рис. 8.27).

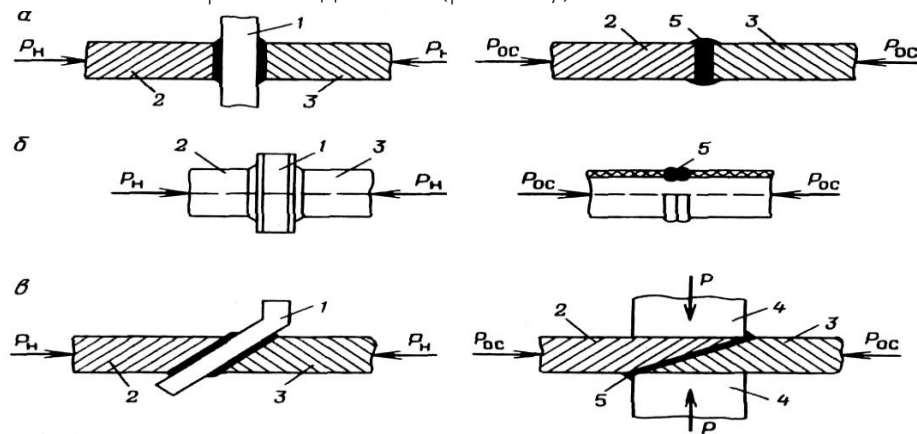


Рисунок 8.26 – Схемы сварки нагретым инструментом прямым нагревом:

а – стержней встык; б – труб встык; в – соединения на ус; 1 – нагретый инструмент; 2,3 – свариваемые детали; 4 – прижимные ролики; 5 – сварной шов; слева нагрев, справа – осадка; $P_{ос}$ – давление осадки; P – давление прижима

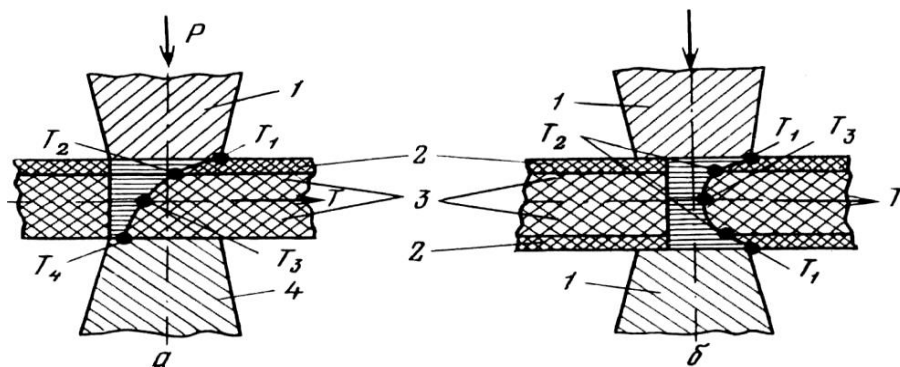


Рисунок 8.27 – Схемы сварки нагретым инструментом косвенным нагревом нахлесточных соединений при одностороннем (а) и двустороннем (б) подводе тепловой энергии: 1 – нагретый инструмент; 2 – прокладка; 3 – свариваемые детали; 4 – холодный инструмент; $T_1 - T_4$ – распределение температур по толщине деталей

В первом случае нагрев поверхностей, подлежащих сварке, до температур, превышающих температуры плавления, осуществляется за счет теплоотдачи от плотно поджатого к ним нагретого инструмента. Для того, чтобы подчеркнуть, что тепловая энергия подводится в этом случае непосредственно к поверхностям, подлежащим сварке, такую схему называют сваркой прямым нагревом. Можно встретить также термин «сварка оплавлением», отражающий тот факт, что перед сваркой соединяемые поверхности должны быть оплавлены.

Во втором случае нагрев поверхностей, подлежащих сварке, осуществляется за счет теплопроводности слоя термопласта, расположенного между соединяемыми поверхностями и поверхностями, с которыми контактирует нагретый инструмент. Чтобы подчеркнуть не прямой характер подвода тепловой энергии к соединяемым поверхностям, такую сварку называют сваркой косвенным нагревом или сваркой проплавлением.

Сварка прямым нагревом применяется для изготовления пластмассовых трубопроводов различного назначения, емкостей из формованных деталей, деталей машин, рамных конструкций из профилей и т.д.

Наиболее просто таким методом получают стыковые сварные соединения стержней, труб, профилей из полиэтилена, полипропилена и поливинилхлорида толщиной 2-20 мм, а также угловые соединения при изготовлении соединительных деталей пластмассовых трубопроводов (рис. 8.28).

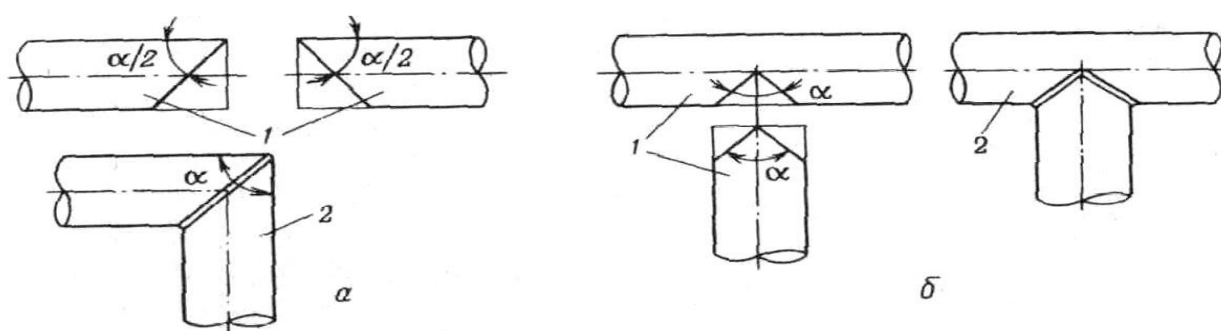


Рисунок 8.28 – Сварка труб при угловом соединении: (а) и при изготовлении отводов (б): 1 – свариваемые детали; 2 – готовые изделия

Прямой характер нагрева свариваемых поверхностей предопределяет прерывистость процесса, так как, чтобы соединить разогретые поверхности, необходимо сначала удалить из зоны сварки инструмент, а затем сдавить свариваемые детали. Соответственно, в таком процессе можно выделить три этапа: разогрев или оплавление поверхностей, подлежащих сварке; технологическую паузу, необходимую для удаления или перемещения из зоны сварки нагретого инструмента; осадку свариваемых деталей путем приложения давления и выдержки под давлением до достижения необходимой температуры охлаждения.

Разновидностью сварки прямым нагревом является сварка нагретым элементом, остающимся в сварном шве. Нагрев такого закладного элемента проводят, пропуская через него электрический ток. В качестве закладного элемента применяют металлическую проволоку, которую в виде спирали укладывают в пазы соединительного элемента.

Сварку нагретым инструментом, остающимся в сварном шве, целесообразно использовать при соединении в труднодоступных местах, при прокладке трубопроводов в стесненных условиях, трубопроводов с большим числом соединений.

Сварка нахлесточных соединений из листовых, эластичных термопластов и пленок может выполняться непрерывно. Такая схема сварки получила название сварки нагретым клином. Она

закljučается в непрерывной сварке пленок, уложенных внахлестку, между которыми вручную перемещается наконечник нагретого инструмента, выполненный в виде клина. Контакт клина с внутренними поверхностями пленок приводит к их разогреву до температуры сварки. Сварной шов образуется за счет прижатия разогретых поверхностей друг к другу роликом, перекатывающимся вслед за инструментом.

Сварка труб нагретым инструментом встык

Сваркой встык нагретым инструментом соединяются трубы и детали с толщиной стенки по торцам более 5 мм. Не рекомендуется сварка встык труб с разной толщиной стенок (*SDR*), изготовленных из разных марок полиэтилена, и длинномерных труб.

Технологические параметры сварки выбираются по таблицам, в соответствии с маркой полиэтилена, из которого изготовлены трубы и детали.

Сборку и сварку труб и деталей рекомендуется производить на сварочных машинах с высокой и средней степенью автоматизации процесса сварки. Допускается также использовать машины с ручным управлением процессом сварки, но с обязательным автоматическим поддержанием заданной температуры нагретого инструмента (не рекомендуется применять нагревательные инструменты, нагреваемые газом).

Технологический процесс соединения труб и деталей сваркой встык включает:

- подготовку труб и деталей к сварке (очистка, сборка, центровка, механическая обработка торцов, проверка совпадения торцов и зазора в стыке);
- сварку стыка (оплавление, нагрев торцов, удаление нагретого инструмента, осадка стыка, охлаждение соединения).

Перед сборкой и сваркой труб, а также соединительных деталей необходимо тщательно очистить их полости от грунта, снега, льда, камней и других посторонних предметов, а соединяемые концы – от всех загрязнений на расстоянии не менее 50 мм от торцов. Концы труб, защищенных полипропиленовой оболочкой, освобождаются от нее с помощью специального ножа на расстоянии не менее 15 мм.

Очистку производят сухими или увлажненными кусками мягкой ткани из растительных волокон с дальнейшей протиркой и просушкой. Если концы труб или деталей (вследствие небрежного хранения) окажутся загрязненными смазкой, маслом или какими-либо другими жирами, то их обезжиривают с помощью спирта, ацетона или специальных обезжиривающих составов. Не рекомендуется производить очистку и обезжиривание цветными и синтетическими волокнистыми тканями.

Сборку свариваемых труб и деталей, включающую установку, соосную центровку и закрепление свариваемых концов, производят в зажимах центратора сварочной машины.

Концы труб и деталей центруют по наружной поверхности таким образом, чтобы

максимальная величина смещения наружных кромок не превышала 10 % толщины стенок труб и деталей. Подгонку труб и деталей при центровке осуществляют поворотом одного из свариваемых концов вокруг их оси, перестановкой опор по длине трубы.

При сварке встык вылет концов труб из зажимов центраторов обычно составляет 15-30 мм, а привариваемых деталей – не менее 5-15 мм.

Закрепленные и сцентрированные концы труб и деталей перед сваркой подвергают механической обработке – торцеванию с целью выравнивания свариваемых поверхностей непосредственно в сварочной машине.

После механической обработки загрязнение поверхности торцов не допускается.

Удаление стружки из полости трубы или детали производят с помощью кисти, а снятие заусенцев с острых кромок торца – с помощью ножа.

После обработки еще раз проверяют центровку и отсутствие зазоров в стыке.

Последовательность выполнения операций представлена на рисунке 8.29.

Основными параметрами сварки встык являются:

- температура нагретого инструмента $T_{н}$;
- продолжительность оплавления $t_{оп}$ и нагрева $t_{н}$;
- давление нагретого инструмента на торцы при оплавлении $P_{оп}$ и нагреве $P_{н}$;
- продолжительность технологической паузы между окончанием нагрева и началом осадки $t_{п}$;
- давление на торцы при осадке $P_{ос}$;
- время охлаждения сваренного стыка под давлением осадки $t_{охл}$.

Для машин со средней и высокой степенью автоматизации дополнительным нормируемым параметром может являться время нарастания давления осадки $t_{д}$.

Изменение величины параметров во времени в процессе сварки производят по циклограмме (рис. 8.30). Продолжительность оплавления $t_{оп}$, как правило, не нормируется и зависит от появления первичного грата.

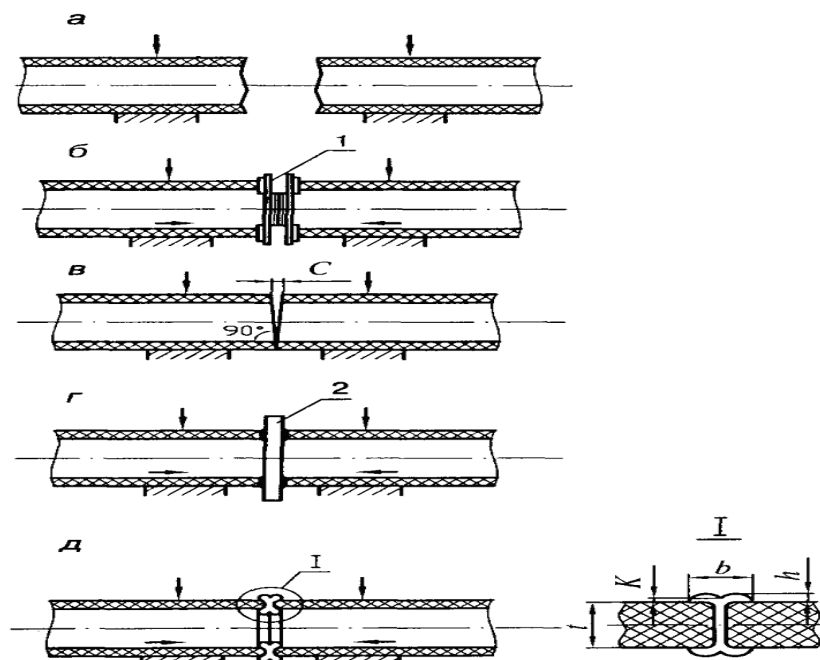


Рисунок 8.29 – Последовательность выполнения операций при сварке труб нагретым инструментом: а – центровка и закрепление в зажимах сварочной машины концов свариваемых труб; б – механическая обработка торцов труб с помощью торцовки 1; в – проверка соосности и точности совпадения торцов по величине зазора С; г – плавление и нагрев свариваемых поверхностей нагретым инструментом 2; д – осадка стыка до образования сварного соединения

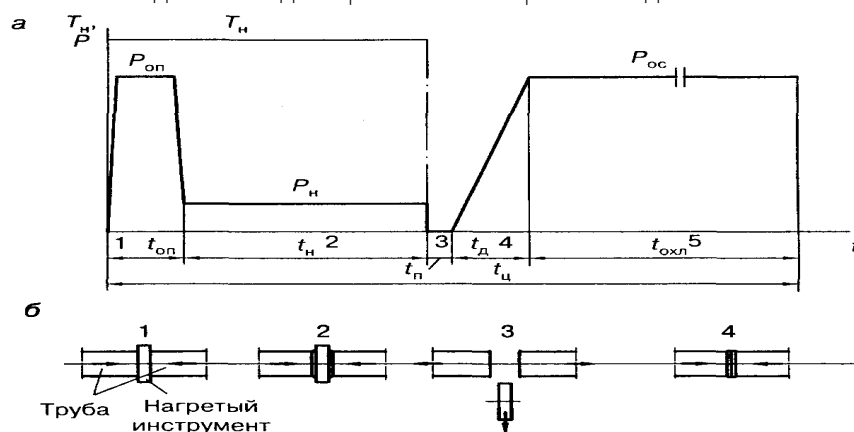


Рисунок 8.30 – Циклограмма процесса сварки встык нагретым инструментом труб из полиэтилена: а – диаграмма изменения во времени t давления на торцах P и температуры нагретого инструмента T_n ; б – последовательность протекания процесса сварки; 1 – оплавление торцов; 2 – нагрев концов труб; 3 – вывод нагретого инструмента (технологическая пауза); 4, 5 – осадка и охлаждение стыка

Оплавление и нагрев торцов свариваемых труб и деталей осуществляют одновременно посредством их контакта с рабочими поверхностями нагретого инструмента.

Оплавление торцов необходимо выполнять при давлении $P_{оп} = 0,2 \pm 0,02$ МПа в течение времени $t_{оп}$, достаточного для образования по всему периметру контактирующих с нагревателем торцов труб валиков расплавленного материала (первичного грата) высотой не менее:

- 1,0 мм при толщине стенки труб от 5 до 10 мм;
- 1,5 мм » » » » 10 » 12 мм;
- 2,0 мм » » » » 12 » 20 мм;
- 2,5 мм » » » » 20 » 26 мм;
- 3,0 мм » » » » 26 » 35 мм.

После появления первичного грата давление необходимо снижать до $P_H=0,02\pm 0,01$ МПа и торцы нагревать в течение времени t_H , которое зависит от сортамента (толщины стенки) труб и деталей и температуры окружающего воздуха T_0 .

Допускается давление P_H снижать до минимума при сохранении постоянства контакта торцов труб (деталей) с нагретым инструментом.

Продолжительность технологической паузы, необходимой для удаления нагретого инструмента, должна быть минимальной, не более:

- 3 с – для труб d_e 63 мм;
- 4 с – » » d_e 90 – 140 мм;
- 5 с – » » d_e 160 – 225 мм;
- 6 с – » » d_e 250 – 315 мм.

После удаления нагретого инструмента торцы труб и деталей сводят и производят осадку стыка при давлении $P_{oc}=0,2\pm 0,02$ МПа. Осадку стыка необходимо осуществлять плавным увеличением давления до заданного уровня.

Охлаждение стыка необходимо производить под давлением осадки в течение времени $t_{охл}$, величина которого принимается в зависимости от толщины стенки свариваемых труб и деталей и температуры окружающего воздуха T_0 .

С целью повышения точности поддержания заданных давлений ($P_{оп}$, P_H , P_{oc}) в процессе сварки необходимо учитывать потери на трение движущихся частей сварочной машины и перемещаемой при сварке трубы (секции). Для этого перед сваркой каждого стыка производят замер усилия при холостом ходе подвижного зажима центратора машины с закрепленной в нем трубой (секцией), который суммируют с усилием, необходимым для создания заданных давлений ($P_{оп}$, P_H , P_{oc}).

Для уменьшения потерь на трение рекомендуется использовать переносные и регулируемые по высоте роликовые опоры.

При сварке нагретым инструментом рабочие поверхности нагревателя покрывают антиадгезионным слоем, препятствующим налипанию расплава на инструмент.

Сварка труб нагретым инструментом в раструб

Контактную сварку в раструб и контактную раструбно-стыковую сварку следует осуществлять с соблюдением такой последовательности операций (рис. 8.31): подготовка заготовок к сварке (обрезка конца трубы, снятие на ней фаски, установка ограничительного

хомута), надвигание раструба соединительной детали на дорн нагревательного инструмента, вдвигание конца трубы в гильзу нагревательного инструмента, оплавление свариваемых поверхностей, удаление нагревательного инструмента (технологическая пауза), соединение свариваемых заготовок, охлаждение сварного соединения.

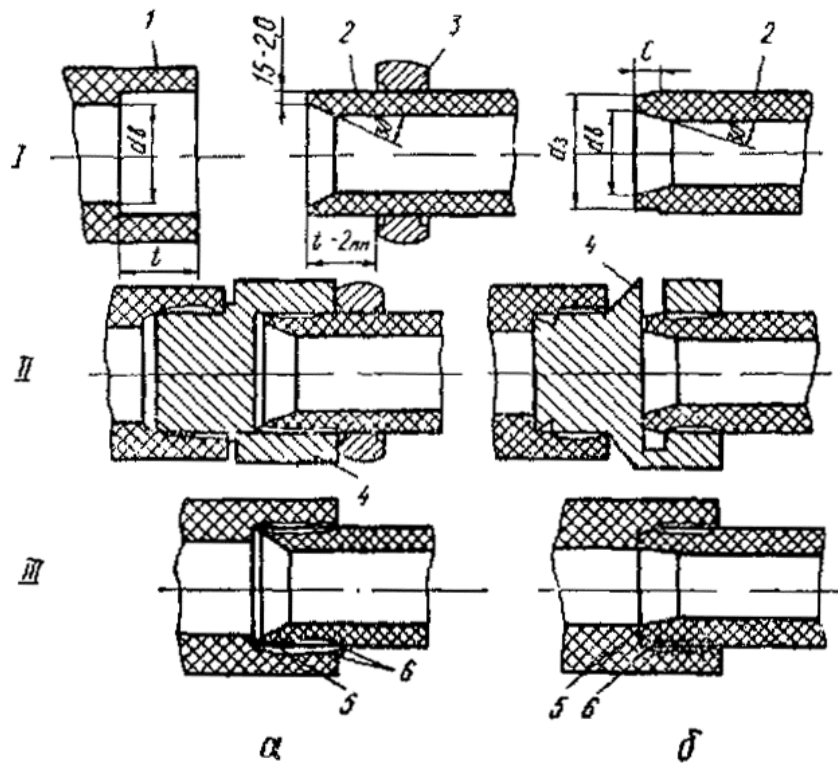


Рисунок 8.31 – Последовательность процесса сварки труб внахлест:

- а – раструбной; б – раструбно-стыковой; I – подготовка труб и деталей к сварке;
 II – нагрев и охлаждение труб и деталей; III – соединение труб и деталей; 1 – раструб соединительной детали; 2 – конец трубы; 3 – ограничительный хомут;
 4 – нагревательный инструмент; 5 – сварной шов; 6 – зона оплавленного материала

При контактной сварке внахлест ограничительный хомут следует устанавливать на трубу таким образом, чтобы расстояние от торца трубы было на 2 мм меньше длины раструба. При контактной раструбно-стыковой сварке ограничительный хомут для придания круглой формы трубам, имеющим эллиптическое сечение, устанавливают на расстоянии от торца трубы, на 2-3 мм превышающем длину раструба.

Оплавление свариваемых поверхностей следует производить с помощью нагревательного инструмента. Для облегчения контроля за оплавлением торца трубы при раструбно-стыковой сварке допускается использование нагревательного инструмента, гильза которого имеет смотровой зазор величиной 3-6 мм (рис. 8.32, зазор «С»). Шероховатость рабочих поверхностей инструмента не должна превышать $R_a = 0,8$ по ГОСТ 2789-73 и ГОСТ 2.309-73.

Вылет концов труб из зажимов сварочного оборудования должен составлять не более 1,5 длины раструба.

При сварке внахлест вдвигать трубу в раструб следует до упора ограничительного хомута в торец раструба. При раструбно-стыковой сварке вдвигать трубу необходимо до упора ее торца в торец внутреннего выступа соединительной детали.

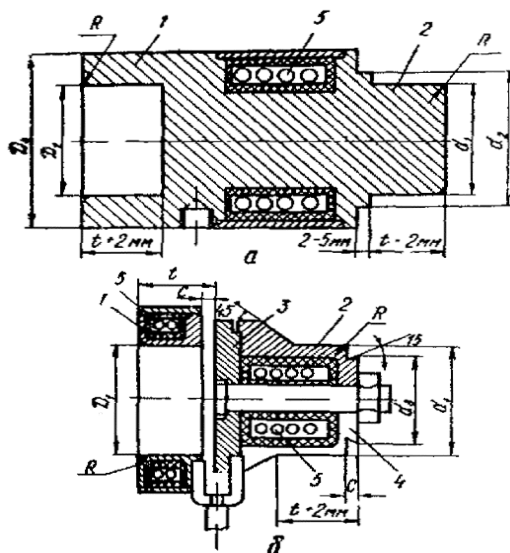


Рисунок 8.32 – Инструмент для раструбной (а) и раструбно-стыковой (б) сварки:
 1 – гильза; 2 – дорн; 3 – поверхность для оплавления торца трубы; 4 – поверхность для
 оплавления внутренней полки соединительной детали; 5 – электроспираль

8.7 Процесс сварки с закладными нагревателями

Сварку при помощи деталей с закладными нагревателями применяют:

- для соединения пластмассовых труб диаметром от 20 до 700 мм с любой толщиной стенки;
- для приварки к трубопроводу муфт, отводов, тройников, переходов и др.;
- при повышенных требованиях к качеству соединения.

Сварку муфтами с закладными нагревателями рекомендуется производить для:

- ✓ соединения длинномерных труб;
- ✓ соединения труб с толщиной стенки менее 5 мм;
- ✓ ремонта трубопровода в стесненных условиях.

Сварку трубопроводов с применением соединительных деталей с закладными нагревателями производят при температуре окружающего воздуха от -5 до $+35^{\circ}\text{C}$.

При необходимости проведения сварки при более низких температурах воздух работы выполняют в укрытиях (палатки, шатры и т.п.) с обеспечением подогрева зоны сварки.

Сущность технологического процесса сварки заключается в том, что встроенные в соединительную деталь закладные нагреватели за счет тепла, выделяемого при прохождении по ним электрического тока, разогревают место соприкосновения поверхности детали и трубы, в результате происходит плавление и смешивание материала поверхностных слоев (рисунок 8.33).

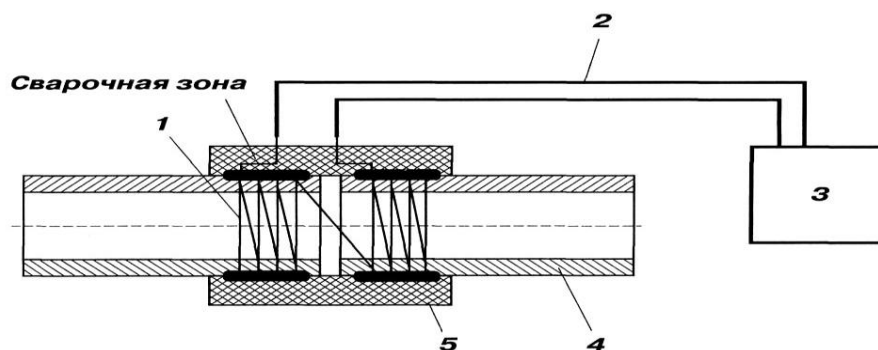


Рисунок 8.33 – Принципиальная схема электромуфтовой сварки:

1 – закладной нагреватель; 2 – токоподводящий кабель; 3 – сварочный аппарат; 4 – полиэтиленовая труба;
5 – электромуфта

После естественного охлаждения образуется неразъемное соединение детали с трубой.

Подвод тепловой энергии осуществляется в так называемых горячих сварочных зонах, где под воздействием высокой температуры (200-240 °С) происходит плавление полиэтилена. Холодные зоны муфты являются "запорным устройством", не допускающим выхода расплавленного полиэтилена из зазора. В результате в области горячей зоны создается избыточное давление расплавленного полиэтилена за счет которого, в результате происходящей диффузии и перемешивания микрообъемов, происходит соединение трубы и муфты.

Муфты и все соединительные детали с закладными нагревателями снабжаются индикаторами, которые информирует о проведении процесса сварки. Заключение о том, что сварочный процесс прошел нормально, выдается сварочным аппаратом в протоколе сварки в виде распечатки.

Процессы, проходящие при сварке

Процесс образования муфтового сварного соединения можно разделить на три этапа. На первом этапе происходит термическая активация свариваемых поверхностей за счет нагрева закладного нагревателя. Одновременно, в процессе нагрева свариваемых деталей, происходит увеличение диаметра трубы в зоне спирали и частичное вытеснение воздушной прослойки из зоны контакта.

На втором этапе, при переходе полиэтилена в вязкотекучее состояние, происходит образование физического контакта между свариваемыми поверхностями. Образованию физического контакта предшествует перемещение расплава и заполнение им имеющихся пустот с одновременным вытеснением оставшейся воздушной прослойки и имеющихся загрязнений из зоны контакта. На этом этапе происходит объемное развитие взаимодействия за счет течения и перемешивания расплава и диффузии молекулярных сегментов из одной поверхности в другую через границу раздела.

На третьем этапе (после отключения питания от спирали соединительной детали) происходит постепенное остывание расплава с формированием совместных надмолекулярных структур.

Таким образом, при данном виде сварки технологическими параметрами являются: напряжение электрического тока, подаваемого на спираль детали; время оплавления (сварки), в течение которого происходит разогрев спирали и свариваемых поверхностей образование сварного соединения; время охлаждения полученного соединения.

Порядок проведения сварки

Стадии технологического процесса соединения труб с помощью соединительных деталей с закладными нагревателями (рисунок 8.34):

– подготовка концов труб:

- очистка от загрязнений;
 - механическая обработка свариваемых поверхностей;
 - разметка;
 - обезжиривание;
- сборка стыка:
- установка и закрепление концов свариваемых труб в зажимах позиционера (центрирующего приспособления) с одновременной посадкой детали с ЗН;
 - подключение детали с ЗН к сварочному аппарату;
- сварка:
- задание программы процесса сварки;
 - пуск процесса сварки;
 - нагрев;
 - охлаждение соединения.

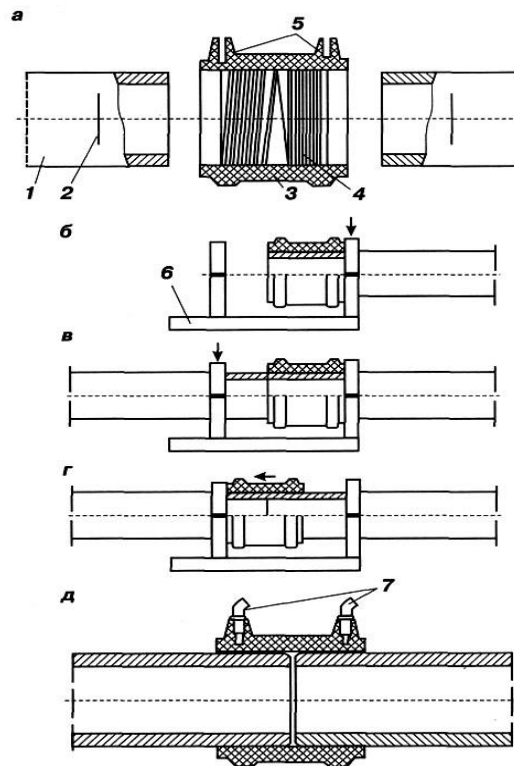


Рисунок 8.34 – Соединение труб муфтой с закладным нагревателем: а – схема подготовки соединяемых элементов; б, в, г – схемы сборки стыка; д – собранный под сварку стык; 1 – труба; 2 – метка посадки муфты и механической обработки поверхности трубы; 3 – муфта; 4 – закладной нагреватель; 5 – клеммы токоподвода; 6 – приспособление для сборки; 7 – токоподводящие провода сварочного аппарата

Не рекомендуется превышать величину зазора между торцами труб в муфте е (рисунок 8.35) и величину скоса трубы

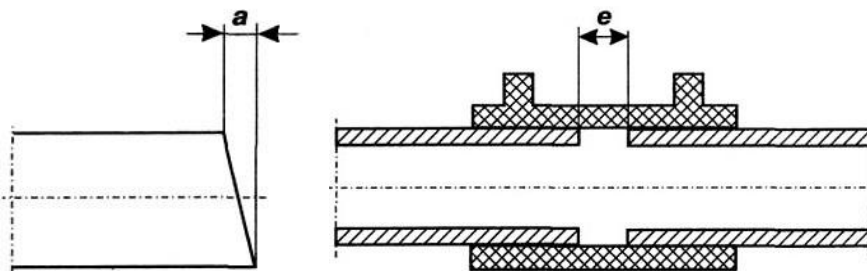


Рисунок 8.35 – Схема сборки: a – максимальный допуск косо́го среза трубы; e – максимальный зазор между двумя концами труб в муфте

Подготовка концов труб

Очистка. Концы труб от загрязнений очищают так же, как при выполнении сварки в стык.

Длина очищаемых концов труб должна быть не менее 1,5 длины раструбной части применяемых для сварки деталей.

Механическая обработка. Поверхности концов свариваемых труб циклюют на длину, равную не менее 0,5 длины используемой детали.

При циклевке с поверхности размеченного конца трубы снимают слой толщиной 0,1-0,2 мм.

Для труб диаметром до 75 мм, а также для удаления заусенец с торца трубы, как правило, применяется ручной скребок (цикля) (рисунок 8.36).



Рисунок 8.36 – Ручной скребок (цикля)

Для труб диаметром более 75 мм, а также для труб, изготовленных из ПЭ 100 независимо от диаметра, рекомендуется использовать механической инструмент, который обеспечивает быстрое и равномерное снятие оксидного слоя с поверхности труб (рисунок 8.37).



Рисунок 37 – Механический скребок

Стружка должна сниматься цельной по всему периметру трубы. Если стружка рвется, то труба имеет овальность, которую необходимо выправлять. При работе ручной циклей за один проход снимается стружка толщиной 0,1 мм. Далее ручной циклей зачищают наружную и внутреннюю кромки торца трубы и удаляют стружку из полости трубы. В случае необходимости эллипсность трубы устраняют с помощью специального ручного или гидравлического устройства (рисунок 8.38).



Рисунок 8.38 – Устранение эллипсности

Кольцевой зазор между трубой и соединительной деталью не должен, как правило, превышать 0,3 мм, и после сборки на трубе должны быть видны следы механической обработки поверхности.

Механическую обработку и протирку труб и деталей производят непосредственно перед сборкой и сваркой.

Детали с закладными нагревателями механической обработке не подвергаются.

Центровка. Для правильного положения муфты относительно труб после механической обработки на концы свариваемых труб наносят метки глубины посадки муфты (соединительной детали), равные половине ее длины.

Обезжиривание. Свариваемые поверхности труб после циклевки и муфты обезжиривают путем протирки салфеткой из хлопчатобумажной ткани, смоченной в спирте или других специальных обезжиривающих составах, с небольшой паузой для их испарения.

Детали с закладными нагревателями, поставляемые в индивидуальной герметичной упаковке, вскрываемой непосредственно перед сборкой, обезжириванию допускается не подвергать.

Сборка стыка

Сборка стыка заключается в посадке муфты на концы свариваемых труб с установкой по ранее нанесенным меткам, по ограничителю или по упору в позиционере (рисунок 8.39).

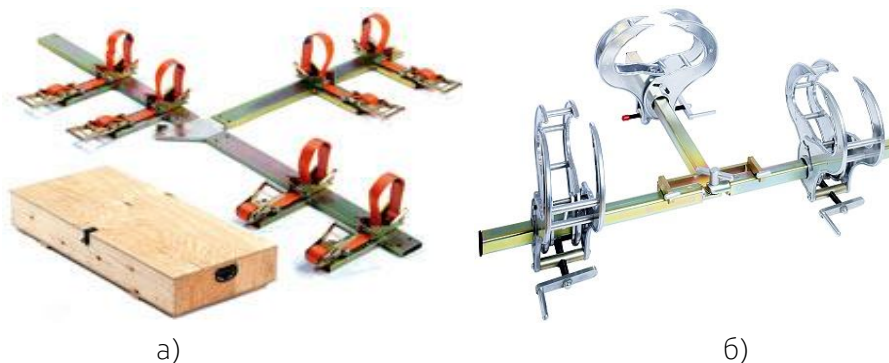


Рисунок 8.39 – Позиционеры: а – ремешковый; б – универсальный

Рекомендуется:

- для сборки стыков труб, поставляемых в отрезках, использовать центрирующие хомуты и позиционеры;
- для сборки стыков труб, поставляемых в бухтах или на катушках, использовать выпрямляющие позиционеры.

Процесс сборки включает:

- надевание муфты на конец первой трубы до совмещения торцов труб, закрепление конца труб в зажиме позиционера (рисунок 8.34, б);
- установку в упор в торец первой трубы и закрепление конца второй трубы в зажиме позиционера (рисунок 8.34, в);
- продвижение муфты на конец второй трубы на 0,5 длины муфты до упора в зажим позиционера (рисунок 8.34, г) или до метки, нанесенной на трубу;
- подключение к клеммам муфты токоподводящих кабелей от сварочного аппарата (рисунок 8.34, д).

В случае если муфты имеют внутренний ограничитель (кольцевой уступ), то сборка труб производится до упора торцов в кольцевой уступ и собранное соединение закрепляется в позиционере.

Если свариваемые концы труб имеют овальность, превышающую 1,5 % наружного диаметра трубы, либо 1,5 мм, то перед сборкой стыка для придания им округлой формы используют инвентарные калибрующие зажимы, которые устанавливаются на трубы на удалении 15-30 мм от меток или устраняют овальность при помощи специальных приспособлений.

Во избежание повреждения закладных нагревателей (проволочных электроспиралей) надевание детали с ЗН на конец трубы или введение конца трубы в муфту производят без перекосов.

Концы труб, входящие в соединительные детали, не должны находиться под действием изгибающих напряжений и усилий от собственного веса.

Муфты после монтажа должны свободно вращаться на концах труб от небольшого усилия руки.

Сварка

Трубы сваривают при обеспечении неподвижности соединения в процессе нагрева и последующего естественного охлаждения.

Параметра режимов сварки устанавливают в зависимости от вида и сортамента используемых соединительных деталей с ЗН и (или) сварочных аппаратов в соответствии с указаниями заводов-изготовителей в паспортах изделий. При включении аппарата процесс сварки происходит в автоматическом режиме.

Для сварки труб соединительными деталями с закладными нагревателями применяют сварочные аппараты, работающие от сети переменного тока напряжением 230 В (190-270 В), от аккумуляторных батарей или от передвижных источников питания (мини-электростанций).

В паспорте детали с ЗН или в штрих коде указывается время охлаждения сварного соединения до той температуры, при которой это соединение можно перемещать.

Существует пять основных видов задания режимов сварки:

1. Ручная – уровень напряжения или уровень тока, время сварки устанавливается вручную, по паспортным данным фитинга.
2. Штрих-код или магнитная карта – автоматическая система распознавания технологии сварки, когда информация записана в виде 24-х (32-х) разрядного штрих-кода или занесена на магнитную карту.
3. Фьюзоматик – продолжительность сварки определяется считыванием значения отслеживаемого сопротивления, расположенного на клеммах фитинга при фиксированном уровне напряжения 39,5 В.
4. Саморегулирования (RAR) – нет определенного времени сварки: сварка считается законченной, когда расплавленный материал выходит в специальные окошечки и давит на микровыключатели при фиксированном уровне напряжения – 39,5 В.
5. Мемо – внутри фитинга находится микросхема с запрограммированными параметрами сварки.

При сварке деталями с ЗН диаметрами 280-710 мм сварочный цикл выполняется в два приема. Сначала осуществляется предварительный нагрев соединения. При этом полиэтилен в зоне сварки нагревается, происходит его разбухание и за счет этого устраняется зазор между соединительной деталью и трубой. Далее производится второй цикл нагрева, в процессе которого и осуществляется собственно сварка.

Особенности сварки седловых отводов с закладными нагревателями

Приварку к трубам седловых отводов с закладными нагревателями производят в следующей последовательности:

- 1) Размечают место приварки отвода на трубе (рисунок 8.40).

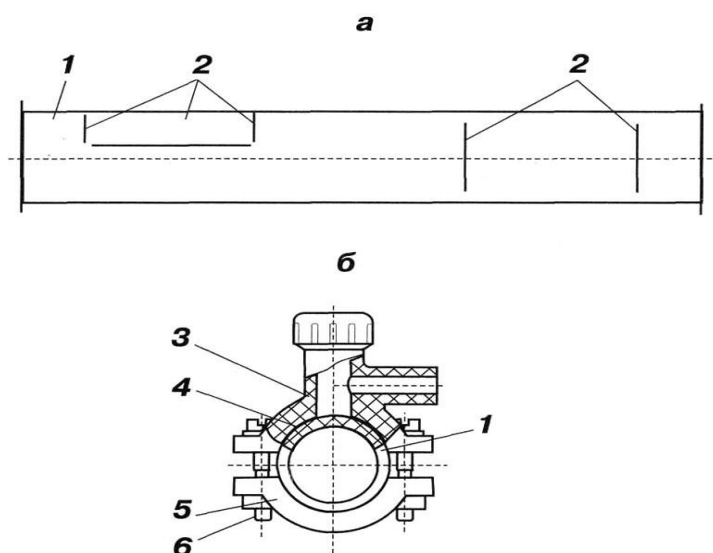


Рисунок 8.40 – Соединение полиэтиленовой трубы и отводов с закладными нагревателями: а – схема разметки; б – отвод с седловым нагревателем;

1 – труба; 2 – метки посадки отводов и механической обработки поверхности трубы; 3 – отвод; 4 – закладной нагреватель; 5 – полухомут; 6 – винты крепления

- 2) Поверхность трубы в месте приварки отвода зачищают с помощью цикли.
- 3) Привариваемую поверхность отвода обезжиривают, а если он поставляется производителем в герметичной индивидуальной упаковке, вскрываемой непосредственно перед сборкой, то его обезжириванию допускается не подвергать.
- 4) Отвод устанавливают на трубу и механически прикрепляют с помощью специальных зажимов, хомутов и т.п.
- 5) Если труба в зоне приварки отвода имеет повышенную овальность (больше 1,5 % наружного диаметра или более 1,5 мм), то перед установкой отвода трубе придают правильную геометрическую форму с помощью калибрующих зажимов, укрепляемых на трубе на расстоянии 15-30 мм от меток (зажимы снимают только после сварки и охлаждения соединения).
- 6) Подключают к контактным клеммам токоподвода сварочные кабели.
- 7) Производят сварку по полученным параметрам (рисунок 8.41).

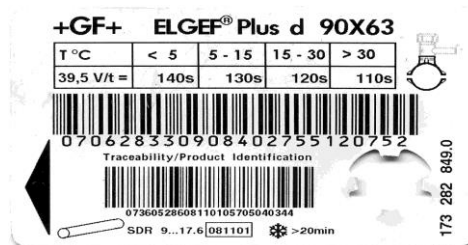


Рисунок 8.41 – Штрих-код с параметрами сварки для седлового отвода

8) После окончания сварки и охлаждения перед фрезерованием трубы производят визуальный контроль качества сварного соединения. Рекомендуется для проверки качества сварки через патрубок приваренного отвода подать избыточное давление воздуха внутрь седлового отвода с одновременным обмыливанием места примыкания основания отвода к газопроводу.

9) Производят фрезерование стенки трубы для соединения внутренних полостей отвода и трубы после полного охлаждения соединения.

Способ сварки с применением закладных нагревателей позволяет:

- ✓ поддерживать стабильные параметры процесса;
- ✓ обеспечивать высокий уровень механизации сварочных работ;
- ✓ значительно увеличивать производительность труда и сокращать продолжительность монтажа трубопровода в сложных монтажных условиях;
- ✓ повышать культуру производства; уменьшать затраты электроэнергии.



9. Контроль качества сварных соединений.

9.1 Основные дефекты при сварке металлов, их классификация, причины возникновения, способы их предупреждения и устранения

Качество продукции – совокупность ее свойств, удовлетворяющих определенные потребности. Для сварных соединений показателями качества служат такие свойства, как прочность, отсутствие дефектов, число исправлений и др.

Контроль качества продукции – это проверка соответствия показателей качества установленным требованиям. Под термином *управление качеством* понимают обеспечение необходимого уровня качества за счет обратных связей от контроля к технологии и путем активного на нее воздействия на всех этапах производства.

Этапы организации контроля должны охватывать последовательно все стадии производства, начиная от проектной документации и кончая контролем готовой продукции. На всех стадиях необходима проверка качества самих контрольных операций: метрологическая поверка средств контроля, оценка соблюдения режимов дефектоскопии, ее чувствительности и достоверности, контроля дефектоскопических материалов, квалификации и состояния операторов-дефектоскопистов и т.п.

Требования к качеству сварных соединений. От качества соединений во многом зависит работоспособность сварных изделий и конструкций, а следовательно, и их безопасность в процессе эксплуатации для окружающей среды и людей. Требования к качеству соединений включают следующие основные показатели: надежность и прочность; макро- и микрогеометрию соединения и шва; дефектность соединения; структуру металла и его термообработку.

Перечисленные показатели оговаривают в нормативно-технических документах (НТД), указывая допустимость (или недопустимость) тех или иных отклонений. Обычно используют несколько категорий качества соединений, зависящих от вида изделий, их ответственности и условий их эксплуатации. Для разных категорий качества регламентируются обычно следующие параметры: допустимые виды, форма, размеры и количество дефектов; виды и объемы контроля – разрушающих и неразрушающих испытаний; достоверность обнаружения тех или иных дефектов выбранным методом контроля.

Классификация дефектов

Термин **дефект** можно определить как отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией. На практике распространено и более широкое понятие о дефектах, как несплошностях или пороках – допустимых и недопустимых. Различают дефекты подготовки и сборки изделий под сварку и собственно сварочные дефекты. Наиболее характерные дефекты подготовки и сборки: неправильный угол скоса кромок в швах при сварке плавлением с V и X-образной разделкой; неравномерное притупление по длине кромок или непостоянство зазора между ними; несовпадение стыкуемых плоскостей; расслоения и загрязнения на кромках и т.п.

Причинами появления подобных дефектов могут быть неисправности станков для изготовления заготовок и приспособлений для сборки, недоброкачественность исходных материалов, ошибки в чертежах, а также низкая квалификация или культура труда работников. Правильность подготовки и сборки соединений контролируют внешним осмотром и измерением с помощью специальных шаблонов и инструментов.

Сварочные дефекты-неплошности различают по их типам и видам (рис. 9.1). Тип дефекта может быть определен практически любым методом контроля. Наиболее информативна в этом отношении радиография.



Рисунок 9.1 – Классификация дефектов сварных швов

Все дефекты по их значимости можно условно распределить по трем группам: малозначительные, значительные и критические. К малозначительным относят отдельные включения и непровары, к значительным – протяженные дефекты и к критическим – трещиноподобные. Трещины и трещиноподобные дефекты по НТД, как правило, считают недопустимыми независимо от их размеров. Объемные дефекты допускают до определенных размеров и количества.

Устранение сварочных дефектов

В зависимости от метода сварки появляющиеся дефекты могут быть разного вида и типа. При сварке плавлением (без давления) – это включения, непровары, трещины. При сварке с давлением – непровары плоскостного типа, называемые часто несплавлениями. Размеры, расположение, частота и причина появления разных дефектов также зависят от метода сварки.

Нормы допустимости дефектов по их видам, типам, размерам и количеству оговариваются в соответствующих НТД. Основанием к назначению норм служат с одной стороны прочностные (эксплуатационные) требования к соединению, а с другой – технологические возможности выполнения сварки.

Если при контроле качества швов обнаружены недопустимые дефекты, то эти дефекты по возможности следует устранить. Если исправление невозможно, то изделие бракуют целиком. Для сварных швов обычных металлоконструкций и труб с толщиной металла до 10-20 мм дефектные участки длиной до 150-200 мм могут быть вырезаны механическим путем или газовым резаком. Затем швы заваривают вновь. В стыках труб малых диаметров (или при большом числе дефектов по периметру стыка) вырезают весь стык и вставляют "катушку" – отрезок трубы. Каждую конкретную конструкцию исправляют по-разному.

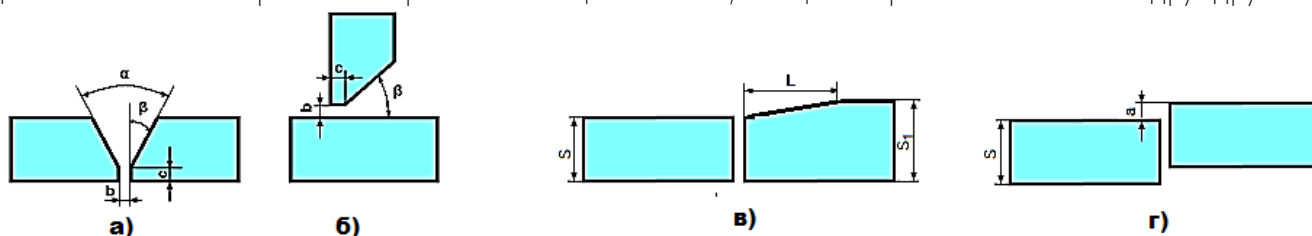
Отдельные крупные трещины предварительно засверливают вблизи (30-50 мм) от их концов. Это позволяет предотвратить распространение трещины. В отдельных случаях металл у концов трещины нагревают до 150-250 °С, что позволяет снизить сварочные напряжения.

Следует отметить, что наиболее целесообразно не исправление, а предотвращение дефектов за счет предупредительного контроля и статистического управления качеством продукции.

Дефекты сварных соединений.

Наружные (внешние) дефекты – это дефекты формы шва, подрезы, прожоги, наплывы, кратеры, а также трещины и поры, выходящие на поверхность металла. В большинстве случаев наружные дефекты можно определить при внешнем осмотре.

К элементам геометрической формы подготовки кромок под сварку (рис. 9.2) относятся угол разделки кромок α , угол скоса кромок β , притупление кромок c , зазор между стыкуемыми кромками b , длина скоса листа при наличии разности толщин металла, смещение кромок относительно друг друга a .



α - угол разделки кромок $(60-90)^{\circ}$
 β - угол скоса кромок $(30-50)^{\circ}$
 c - притупление кромок (1-3 мм)
в зависимости от толщины металла
 b - зазор (1-4 мм) в зависимости
от толщины металла

L - длина скоса листа при наличии разности
толщин металла, $L = 5 (S - S')$
 a - смещение кромок относительно друг друга
 $a = (0,1 \dots 0,2) S$, но не более 3,0 мм в зависимости
от требований НД

Рисунок 9.2 – Конструктивные элементы подготовки кромок: а – стыкового соединения; б – углового соединения; в – разнотолщинных элементов; г – смещения кромок

Наиболее характерные дефекты подготовки и сборки:

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

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

Зазор, правильно установленный перед сваркой, позволяет обеспечить полный провар по сечению соединения при наложении первого (корневого) слоя шва, если подобран соответствующий режим сварки.

Непостоянство зазора между свариваемыми кромками приводит к появлению прожогов или непроваров при сварке.

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

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

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

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

Классификация трещин по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 (рис. 9.3):

- микротрещины (1001), видимые только под микроскопом;
- продольные (101), ориентированные параллельно оси сварного шва;
- поперечные (102), ориентированные поперек оси сварного шва;
- радиальные (103), радиально исходящие из одной точки;
- кратерные (104);
- разрозненные (105), несвязанные между собой, ориентированные в разных направлениях;
- разветвленные (106), связанные между собой, расходящиеся из одной общей трещины.

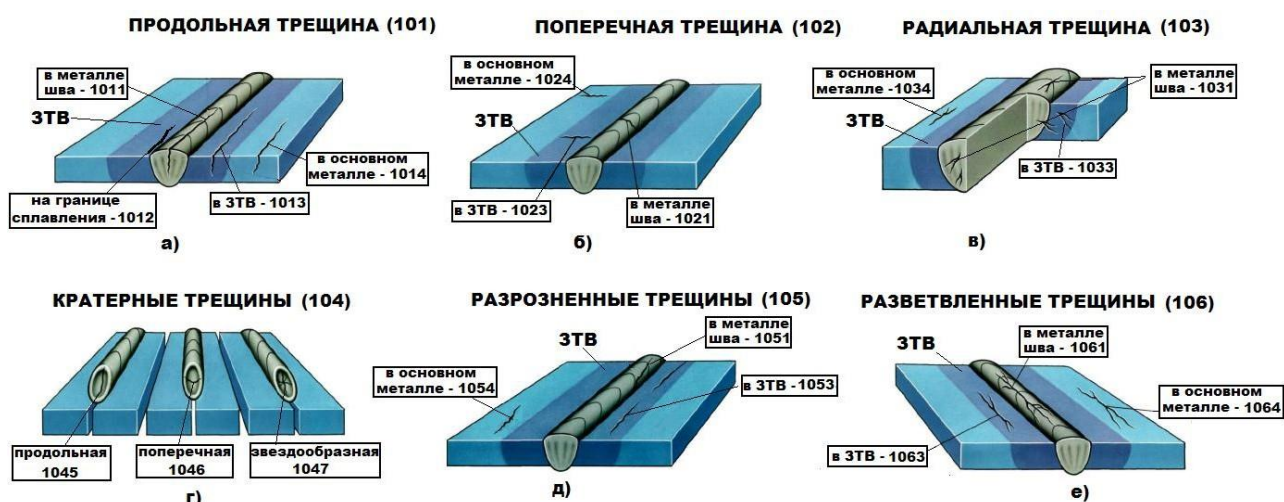


Рисунок 9.3 – Классификация трещин по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012: а – продольные; б – поперечные; в – радиальные; г – кратерные; д – разрозненные; е – разветвленные.

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

Возможные причины появления трещин в швах сварных соединений:

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

Способы предупреждения трещин:

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

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

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

Причины появления холодных трещин:

- сварочные напряжения, возникающие во время фазовых превращений, приводящих к снижению прочностных свойств металла;
- растворенный атомарный водород, не успевший выделиться во время сварки, из-за непросушенных перед сваркой кромок или сварочных материалов (электродов, порошковой проволоки, флюса);
- неправильная техника сварки;
- неправильно выбранный присадочный материал;

- нарушение защиты сварочной ванны.

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

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

Причины появления горячих трещин:

- большое количество вредных примесей в основном металле (особенно серы и фосфора), образующих легкоплавкие эвтектики;
- жесткое закрепление свариваемых заготовок;
- загрязнение кромок разделки маслом, водой, ржавчиной и т.д.;
- неправильно подобранный присадочный материал;
- завышенная скорость сварки.

Чтобы предупредить горячие трещины необходимо:

- ручную дуговую сварку выполнять при минимальной длине дуги, без поперечных колебаний усиленными валиками;
- автоматическую сварку под флюсом производить на пониженных скоростях с минимальным числом проходов;
- кратеры швов тщательно заправлять до получения выпуклого мениска или вышлифовать;
- выполнять каждый проход при многопроходной сварке высоколегированных аустенитных сталей после охлаждения предыдущего до температуры ниже 100° С и тщательной его зачистки;
- применять обратно-ступенчатый метод сварки для уменьшения сварочных напряжений и деформаций.
- подбирать сварочные материалы с пониженным содержанием серы, фосфора и других элементов, образующих легкоплавкие эвтектики (кремний, углерод и пр.);
- выполнять швы с рекомендуемым для данного материала коэффициентом формы шва (соотношением ширины шва к его толщине).

Кратерные трещины появляются из-за сварочных напряжений, когда металл кратера, находящийся в жидко-твердом состоянии, разрывается по границам кристаллов, где скапливаются легкоплавкие эвтектики.

Чтобы предупредить возникновение кратерных трещин, необходимо:

- применять сборочно-сварочные приспособления;
- применять приемы правильной заварки кратера;
- обеспечивать снижение тепловой мощности источника нагрева по окончании сварки.

Разрозненные трещины и разветвленные трещины могут быть холодными и горячими, причины их возникновения указаны выше.

Выходящие на поверхность трещины выявляются при внешнем осмотре. Внутренние трещины могут быть выявлены методами неразрушающего контроля, такими как ультразвуковой и рентгенографический контроль.

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

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

Разделка трещин производится механически или способом воздушно-дуговой строжки U-образной выборкой части шва с углом раскрытия кромок от 50° до 70°. Несквозные трещины необходимо разделять на глубину, превышающую глубину их залегания не менее чем на 3 мм. Сквозные трещины выбирают на всю толщину сварного соединения с пропилом корня шва шириной 2,5-3,5 мм.

При заварке защемленных трещин (не выходящих на кромку) даже в конструкциях из низкоуглеродистых сталей рекомендуется непосредственно перед сваркой произвести подогрев мест, расположенных по торцам выборок металла, где располагалась трещина. Такой технологический прием позволяет снизить поперечные напряжения в ремонтном шве. В отдельных случаях при высокой жесткости конструкции, большой толщине элементов сварочные работы следует производить с предварительным подогревом до температуры 150-250 °С всей детали с последующим замедленным охлаждением в песке или путем укрытия асбестовой тканью.

Заварка трещин должна производиться узкими валиками ограниченной толщины, на пониженном режиме. Короткие трещины (длиной не более 300 мм) обычно заваривают «на проход», трещины средней длины «от середины к концам», «обратноступенчатым» способом с длиной отдельной ступени 150-200 мм. При этом каждую отдельную ступень заваривают в направлении от кромки к концу трещины.

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

Классификация полостей по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 (рис. 9.4):

- газовая пора (2011) – газовая полость практически сферической формы;
- равномерная пористость (2012) – ряд газовых пор, распределенных сравнительно равномерно в наплавленном металле;
- скопление пор (2013) – группа газовых пор, имеющих беспорядочное геометрическое расположение;
- линейная пористость (2014) – ряд газовых пор, расположенных параллельно оси сварного шва;
- вытянутая полость (2015) – протяженная полость, вытянутая вдоль оси сварного шва;
- свищ (2016) – трубчатая полость в металле шва, образованная выходящим газом;
- поверхностная пора (2017) – газовая пора, выходящая на поверхность сварного шва;
- поверхностная пористость (2018) – единичные или множественные газовые полости, выходящие на поверхность сварного шва;
- усадочная раковина (202) – полость, образованная в результате усадки во время кристаллизации;
- кратерная усадочная раковина (2024) – усадочная раковина на конце наплавленного валика, которая не устранена при сварке последующего валика;
- незаваренный кратер (2025) – открытая усадочная раковина с полостью, которая уменьшает площадь поперечного сечения сварного шва.

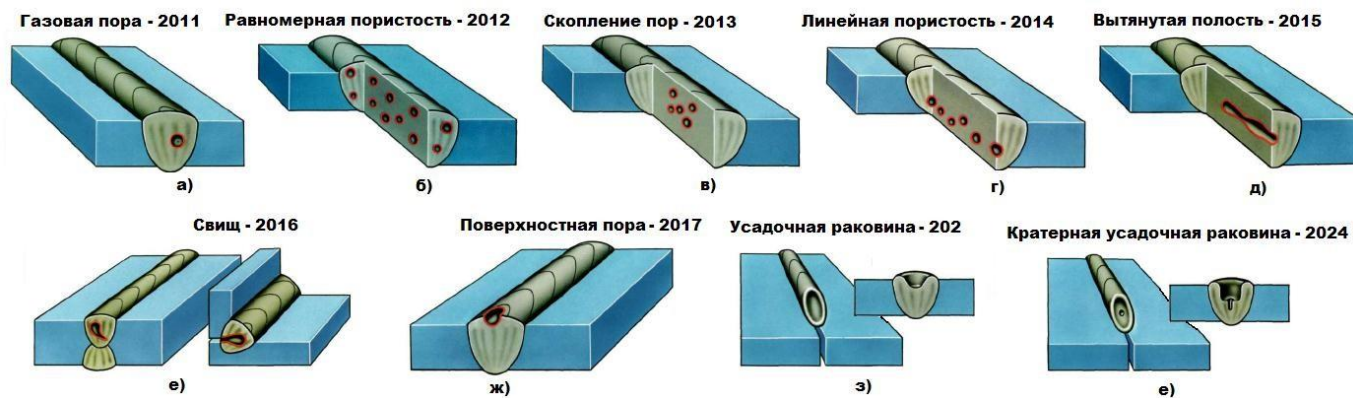


Рисунок 9.4 – Классификация полостей по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012: а – газовая пора; б – равномерная пористость; в – скопление пор; г – линейная пористость; д – вытянутая полость; е – свищ; ж – поверхностная пора; з – усадочная раковина; е – кратерная усадочная раковина и незаваренный кратер

Поры – недопустимый дефект сварных швов для аппаратуры, работающей под давлением и под вакуумом, или предназначенной для хранения и транспортировки жидких и газообразных продуктов. Для других конструкций поры не являются столь серьезным дефектом, как трещины, но наличие пор при всех условиях нежелательно. Вопрос о допустимости пор решается в зависимости от условий эксплуатации конструкции.

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

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

Возможные причины образования пор в сварных швах:

- низкое качество зачистки кромок и присадочной проволоки от загрязнений (окалины, ржавчины, масел и т.п.);
- большая скорость сварки, при которой газы не успевают выйти наружу;
- повышенное содержание углерода в основном и присадочном металле;
- непостоянная толщина покрытия электродов («козыряние» электрода);
- отсыревший флюс, непросушенные электроды;
- вредные примеси в защитном газе;
- большая длина дуги (при магнитном дутье или при недостаточной квалификации сварщика);
- неправильная регулировка пламени сварочной горелки (при газовой сварке);
- неправильный выбор марки сварочной проволоки;
- сквозняки в зоне сварки (при сварке в среде углекислого газа);
- нечеткое зажигание дуги (залипание электрода);
- неправильная полярность.

Наличие пористости в сварном соединении снижает механические свойства металла (прочность,

ударную вязкость и т.п.), а также герметичность изделия.

Одиночные поры возникают за счет действия случайных факторов (колебания напряжения в сети и т.д.). Наиболее вероятно возникновение одиночных пор при сварке алюминиевых и титановых сплавов.

Равномерная пористость обычно возникает при постоянно действующих факторах – загрязненности основного металла по свариваемым поверхностям (ржавчина, масло и т.п.), непостоянной толщине покрытия электродов и т.д.

Скопление пор наблюдается при местных загрязнениях, при нарушении сплошности покрытия электрода, на начальном участке шва, обрыве дуги или случайных изменениях ее длины.

Цепочки пор образуются в условиях, когда газообразные продукты проникают в металл по оси шва на всем его протяжении – при сварке по ржавчине, подсосе воздуха через зазор между кромок, подварке корня шва некачественными электродами.

Способы предупреждения пористости сварных швов:

- очистка свариваемых кромок от ржавчины, масла, краски и других загрязнений;
- просушка свариваемых кромок;
- прокалка и просушка сварочных материалов (электродов, флюса, порошковой проволоки);
- применение обратной полярности при сварке на постоянном токе;
- применение качественных сварочных материалов.

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

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

Кратер – наружный дефект сварного шва, который образуется в виде углублений в местах резкого отрыва дуги в конце сварки. В углублениях кратера могут появляться усадочные рыхлости, часто переходящие в трещины. Кратеры обычно появляются в результате неправильных действий сварщика. При автоматической сварке кратер может появляться в местах выводных планок, где обрывается сварочный шов.

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

Усадочная раковина чаще всего появляется при сварке корневого валика шва, металла большой толщины, увеличенного зазора, при сварке деталей из сталей перлитного класса с жестким закреплением, чрезмерно больших сварочного тока и объема сварочной ванны. Кратерные усадочные раковины часто присутствуют при сварке швов из аустенитных сталей из-за их низкой теплоотдачи и высокого линейного расширения.

Усадочные раковины относятся к недопустимым наружным дефектам, уменьшают сечение сварного шва и являются концентраторами напряжений.

Способы предупреждения усадочных раковин в сварных швах:

- выполнять перекрытие швов при сварке длинными швами;
- вести сварку обратно-ступенчатым способом без случайных прерываний процесса;
- применять правильные приемы заварки кратера (при обрыве дуги не рекомендуется резко отводить электрод от изделия, перемещения электрода следует прекратить, и до обрыва медленно удлинять дугу).

Выходящие на поверхность газовые полости, кратеры и усадочные раковины выявляются при внешнем осмотре. Внутренние поры и свищи могут быть выявлены методами неразрушающего контроля, такими как ультразвуковой и рентгенографический контроль.

Участок сварного шва, в котором присутствуют вышеперечисленные дефекты, подлежит переварке с предварительной выборкой механическим способом или воздушно-дуговой строжкой.

Твердое включение (300) – твердое инородное вещество в металле шва (рис. 9.5).

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

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

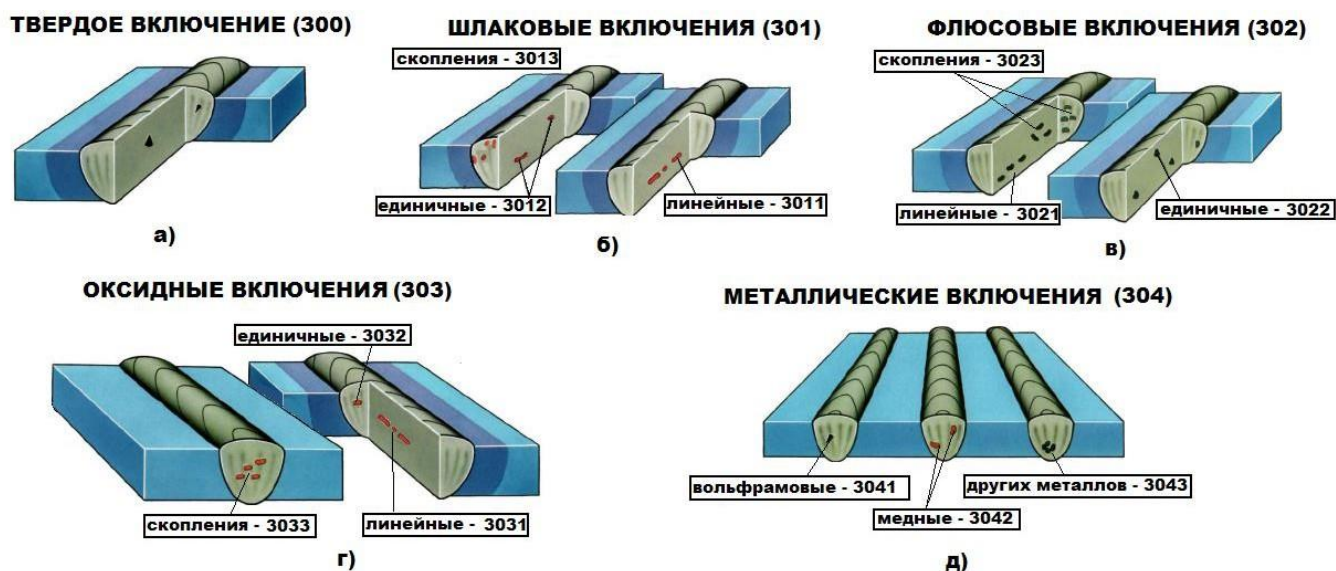


Рисунок 9.5 – Классификация твердых включений по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012:

а – включение; б – шлаковое и оксидное включение; в – флюсовое включение;

г – металлическое включение

Шлаковые включения могут иметь размер до нескольких десятков миллиметров и поэтому являются очень опасными. Шлаковые и твердые включения, так же, как и газовые поры, ослабляют сечение

шва, уменьшают его прочность и являются зонами концентрации напряжений.

Шлаковые включения появляются в результате того, что шлак, образующийся при плавлении электродного покрытия или флюса, не всегда всплывает на поверхность сварочной ванны. Вероятность образования шлаковых включений очень велика при сварке электродами с тонким покрытием. При сварке высококачественными электродами, дающими много шлака, расплавленный металл дольше находится в жидком состоянии, и неметаллические включения успевают всплыть на его поверхность, в результате чего засорение шва шлаковыми включениями незначительно. При сварке в защитных газах шлаковые включения встречаются редко.

Возможные причины образования шлаковых включений в сварных швах:

- небрежная очистка кромок деталей и сварочной проволоки от окалины, ржавчины и грязи;
- неполное удаление шлака с предыдущих слоев при многослойной сварке;
- сварка длинной дугой;
- неправильный наклон электрода;
- недостаточная величина сварочного тока или мощности горелки;
- завышенная скорость сварки;
- некачественные электроды;
- подтекание шлака при выполнении сварки корневых валиков, глубоких разделок и при сварке «на спуск»;
- несоблюдение рекомендуемой величины смещения электрода (зенита) при сварке под флюсом кольцевых швов.

Шлаковые включения можно разделить на макроскопические и микроскопические.

Макроскопические имеют сферическую и продолговатую формы в виде вытянутых «хвостов».

Способы предупреждения шлаковых включений в сварных швах:

- использовать электроды, обеспечивающие высокую жидкотекучесть сварочной ванны;
- не использовать электроды с тонким и осыпающимся покрытием;
- соблюдать режимы сварки, установленные технологической документацией;
- применять оптимальную длину дуги.

Флюсовые включения образуются из-за флюса, не вступившего в реакцию с расплавленным металлом шва и не всплывшего на поверхность сварного шва. Причиной образования флюсовых включений является использование флюса с большой грануляцией, завышение скорости сварки, случайное попадание гранул флюса в сварочную ванну.

Вольфрамовые включения – один из наиболее часто встречающихся дефектов в сварных швах, выполненных при помощи аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Наиболее распространены вольфрамовые включения при сварке алюминиевых сплавов. Вольфрамовые включения – это карбиды, окислы вольфрама и, реже, чистый вольфрам, которые в виде мельчайших частиц попадают в сварочную ванну с рабочего конца вольфрамового электрода во время горения сварочной дуги, а также при его соприкосновении с основным и/или присадочным металлом. При этом вольфрам скапливается в вершине кратеров, где часто образуются трещины. Вольфрамовые включения также могут располагаться внутри шва и на поверхности соединений в виде брызг.

Способы предупреждения вольфрамовых включений в сварных швах:

- обеспечивать чистоту рабочего конца вольфрамового электрода (рабочая поверхность должна

быть гладкой, без корок нагара и иметь серебристо-белый цвет);

- правильно затачивать рабочий конец вольфрамового электрода;
- не допускать при сварке прикосновений рабочей поверхности электрода к расплавленному и к твердому холодному основному металлу, металлу шва или присадки.

Оксидные включения и пленки возникают вследствие значительных поверхностных загрязнений или при нарушениях защиты сварочной ванны. Труднорастворимые тугоплавкие пленки присутствуют во всех сварных швах, выполненных из алюминия и его сплавов, возникают при очень быстром охлаждении металла шва и резко снижают его механические свойства.

Являясь прослойкой в массиве шва, оксидные включения резко снижают прочность сварного соединения и могут привести к его разрушению под приложенной в процессе эксплуатации нагрузкой.

Способы предупреждения оксидных включений в сварных швах:

- применение качественных электродов без окисленного стержня и осыпающейся обмазки, предварительно прокаленных;
- тщательная зачистка кромок;
- тщательное удаление корки шлака с каждого предыдущего слоя шва (в случае многослойной сварки и наплавки);
- соблюдение техники и порядка выполнения сварных швов.

Находящиеся в сварном шве твердые включения не имеют внешних признаков их наличия, поэтому обнаруживаются они методами неразрушающего контроля – ультразвуковым и рентгенографическим.

Вопрос о допустимости твердых включений решается в зависимости от условий эксплуатации конструкции. Данные дефекты устраняют механическим путем до чистого металла и заваривают вновь.

Несплавления и непровары

Классификация несплавлений и непроваров (400) по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 (рис. 9.6):

- несплавление (401) – отсутствие соединения между основным и наплавленным металлом или между отдельными слоями (валиками):
 - по расплавляемой поверхности;
 - между валиками;
 - в корне сварного шва;
 - микронесплавление.
- непровар (402) – различие между фактической и номинальной глубиной проплавления;
- непровар в корне сварного шва (4021) – неполное проплавление поверхностей в корне шва;
- шипы (403) – крайне неравномерное проплавление, которое может возникать при электронно-лучевой и лазерной сварке и выглядит как зубья пилы, может включать полости, трещины, усадку и т.д.

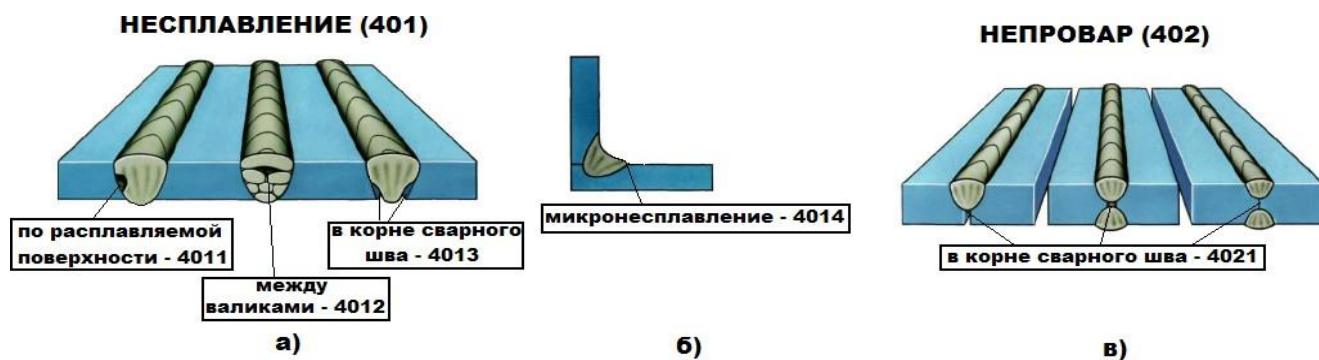


Рисунок 9.6 – Классификация несплавлений и непроваров по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012: а – несплавление; б – микронесплавление; в – непровар

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

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

Возможные причины образования несплавлений в сварных швах:

- плохая очистка металла от окалины, ржавчины и грязи;
- большая скорость сварки;
- большой разрыв по времени между образованием полости жидкой ванны и ее заполнением при электрошлаковой сварке;

- низкая квалификация сварщика.

Способы предупреждения несплавлений в сварных швах:

- качественная подготовка сварного соединения с соблюдением его геометрических размеров;
- снижение скорости сварки;
- увеличение коэффициента формы провара;
- применение мер, обеспечивающих уменьшение разрыва по времени между образованием сварочной ванны и кристаллизацией сварного шва (сварка на спуск наклонным электродом углом вперед, с подогревом и др.);
- обеспечение хорошего смачивания жидким металлом сварочной ванны твердых поверхностей основного металла.

Непровар появляется из-за наличия тонкой прослойки окислов, а иногда и грубой шлаковой прослойки внутри швов.

Причины образования непроваров в сварных швах:

- плохая очистка металла от окалины, ржавчины и грязи;
- малый зазор в стыке;
- излишнее притупление и малый угол скоса кромок;
- недостаточная величина тока или мощности горелки;

- большая скорость сварки;
- смещение электрода в сторону от оси шва;
- недостаточный прогрев основного металла в начале процесса автоматической сварки под флюсом и электрошлаковой сварки;
- вынужденные перерывы в процессе сварки;
- неравномерное прилегание формирующей подкладки к обратной стороне сварного шва;
- плохая очистка предыдущих слоев шва;
- большой объем наплавленного металла.

Способы предупреждения непроваров в сварных швах:

- правильно выбирать разделку кромок;
- качественно подготавливать сварное соединение с соблюдением его геометрических размеров;
- сварку вести на короткой дуге и пониженной скорости;
- строго соблюдать режимы сварки;
- применять выводные планки при автоматической сварке под флюсом.

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

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

Отклонения формы и размеров шва

Классификация отклонений формы и размера сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012 (рис. 9.7, 9.8, 9.9, 9.10):

- неправильная форма (500) – отклонение от требуемой формы и/или геометрии сварного шва;
- подрез (501) – углубление по границе валика в основном металле или предыдущем наплавленном металле:
 - непрерывный (5011) – значительной длины без прерываний;
 - прерывистый (5012) – малой длины, периодически повторяющийся вдоль сварного шва;
 - подрезы корня шва (5013) – расположенные с обеих сторон корневого валика;
 - межваликовый подрез (5014) – проходящий между валиками;
 - единичный подрез (5015) – короткие подрезы, расположенные в разных местах, по границе или на поверхности валиков;
- превышение выпуклости стыкового (502) и углового (503) швов – избыток наплавленного металла на лицевой поверхности стыкового или углового швов;
 - превышение проплава (504) – избыточное количество наплавленного металла при сварке корня шва (местное, протяженное, избыточное проплавление);
 - неправильный профиль сварного шва (505), неправильный угол перехода шва к основному металлу (5051) – малый угол α между поверхностью основного металла и плоскостью, касательной к поверхности выпуклости сварного шва;
 - неправильный радиус перехода шва к основному металлу (5052) – малый радиус перехода выпуклости сварного шва к основному металлу;

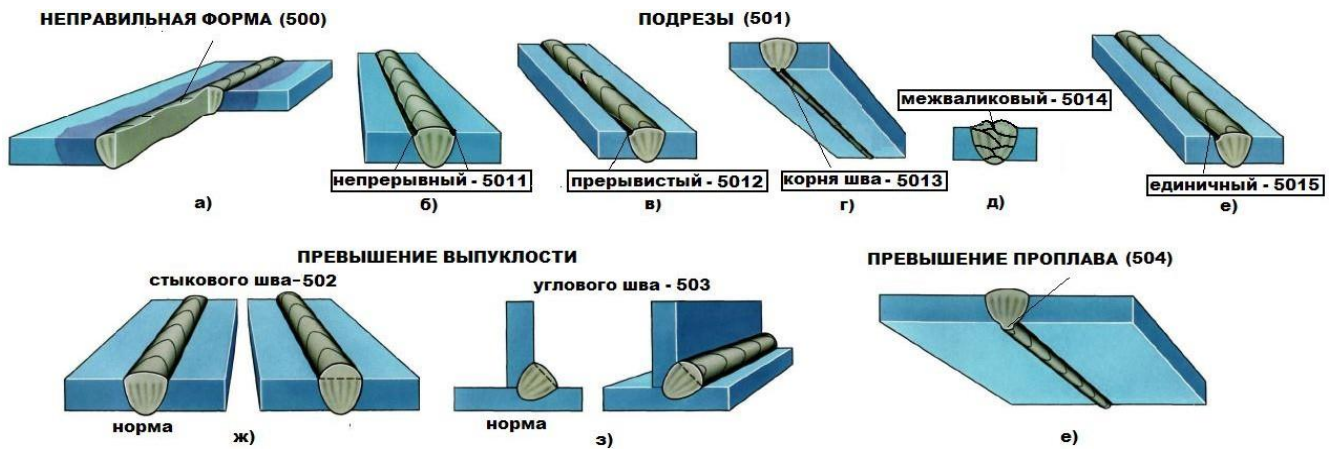


Рисунок 9.7 – Классификация отклонений формы и размера сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012: а – неправильная форма сварного шва; б – непрерывный подрез; в – прерывистый подрез; г – подрез корня шва; д – межваликовый подрез; е – единственный подрез; ж – превышение выпуклости стыкового шва; з – превышение выпуклости углового шва; е – превышение проплава

- натек (506) – избыток наплавленного металла, натекшего на поверхность основного металла без сплавления с ним (на лицевой поверхности и в корне шва);
- линейное смещение (507) – смещение между двумя свариваемыми элементами (листами или трубами), у которых поверхности параллельны, но расположены не в одной плоскости;
- угловое смещение (508) – смещение между двумя свариваемыми элементами, поверхности которых не параллельны или не находятся под заданным углом;
- протек (509) – протек наплавленного металла, обусловленный действием силы тяжести (в горизонтальном, нижнем, потолочном положении, углового шва, на краю шва);
- прожог (510) – вытекание сварочной ванны с образованием сквозного отверстия в сварном шве;
- незаполненная разделка кромок (511) – сплошное или прерывистое углубление на поверхности шва из-за недостатка наплавленного металла;
- асимметрия углового шва (512);
- неравномерная ширина шва (513) – чрезмерное колебание ширины шва;
- неровная поверхность шва (514) – чрезмерная неровность наружной поверхности шва;

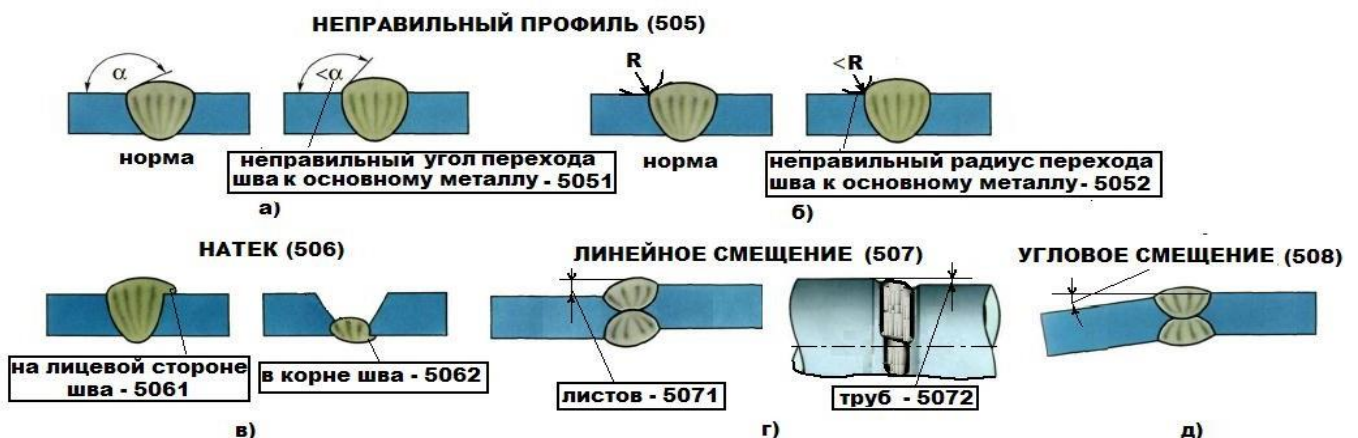


Рисунок 9.8 – Классификация отклонений формы и размера сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012: а – неправильный угол перехода шва к основному металлу; б – неправильный радиус перехода шва к основному металлу; в – натек; г – линейное смещение; д – угловое смещение

- вогнутость корня сварного шва (515) – неглубокое углубление в корне стыкового сварного шва, возникшее вследствие усадки;
- корневая пористость (516) – губчатое образование в корне шва, возникшее вследствие выделения газа в процессе кристаллизации;
- плохое повторное возбуждение (517) – местная неровность поверхности в месте возобновления сварки (в облицовочном слое и в корне шва);
- коробление (520) – отклонение размеров, возникшее от сварочных деформаций;
- неправильные размеры сварного шва (521) – отклонение размеров от нормативных (превышение толщины, ширины стыкового шва, занижение и превышение толщины углового шва).

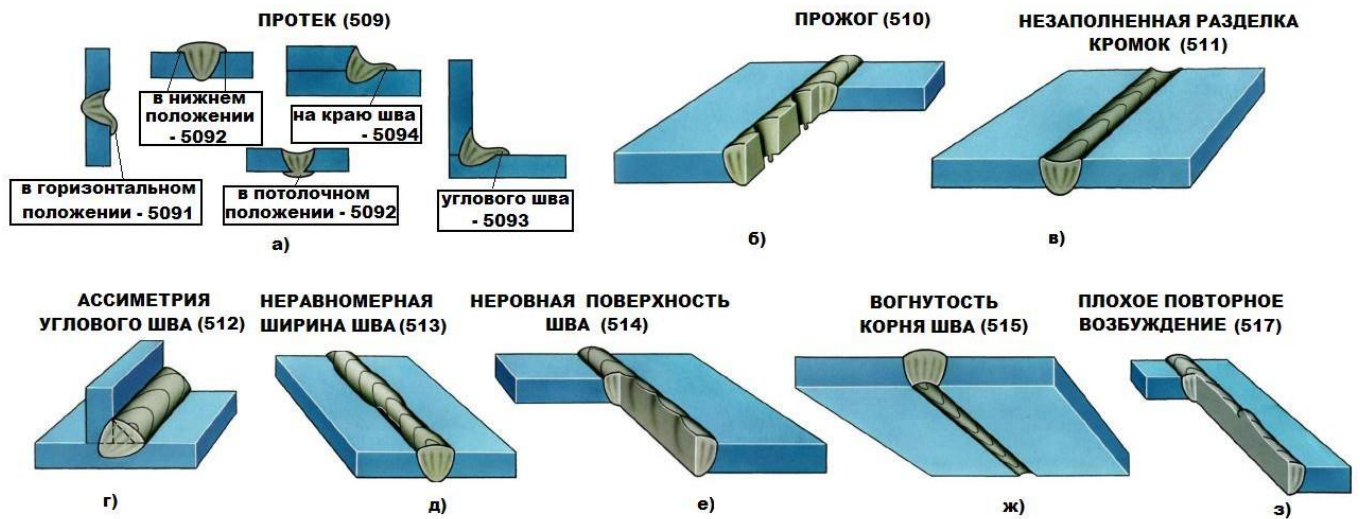


Рисунок 9.9 – Классификация отклонений формы и размера сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012: а – протек; б – прожог; в – незаполненная разделка кромок; г – асимметрия углового шва; д – неравномерная ширина шва; е – неровная поверхность шва; ж – вогнутость корня сварного шва; з – плохое повторное возбуждение

НЕПРАВИЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ СВАРНОГО ШВА (521)

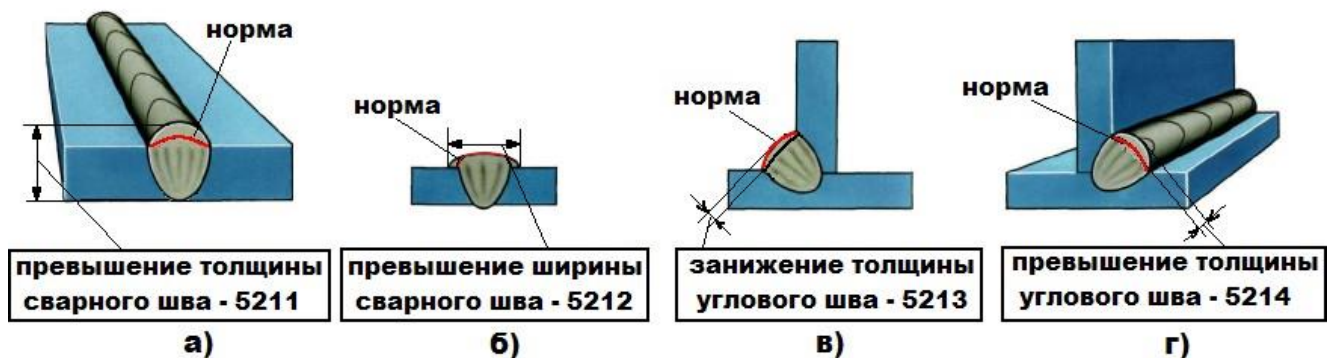


Рисунок 9.10 – Классификация отклонений формы и размера сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012: а – превышение толщины сварного шва; б – превышение ширины сварного шва; в – занижение толщины углового шва; г – превышение толщины углового шва;

г – превышение толщины углового шва;

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

Дефекты формы и размеров сварных швов снижают прочность сварного шва, ухудшают его внешний вид и косвенно указывают на возможность образования внутренних дефектов.

Подрезы представляют собой углубления (канавки), образующиеся в основном металле вдоль края шва или валика шва.

Подрезы могут быть двусторонними, т.е. располагаться с двух сторон шва, или односторонними, т.е. располагаться с одной стороны шва. Наиболее часто подрезы возникают при сварке угловых швов и первых слоев многослойных стыковых швов. При сварке угловых швов наклонным электродом или с оплавлением кромки иногда наблюдается односторонний подрез с наплывом металла на горизонтально расположенную деталь. Подрезы, образовавшиеся в глубинных слоях многослойного шва, если они не были заварены при наложении последующих слоев, являются внутренним дефектом. Такие подрезы, как правило, заполнены шлаком, затекшим в образовавшуюся при подрезе полость.

Возможные причины образования подрезов в сварных швах:

- слишком высокие значения сварочного тока, напряжения на дуге и скорости сварки;
- плохое смачивание и растекание жидкого металла сварочной ванны на нерасплавленных кромках основного металла (при сварке стыковых швов без разделки кромок);
- неправильная техника выполнения швов (смещение электрода в сторону вертикальной стенки при сварке угловых швов);
- повышенная мощность сварочной горелки (при газовой сварке);
- неправильная установка формирующих ползунов (при электрошлаковой сварке);
- неудобное пространственное положение при сварке.

Подрезы приводят к ослаблению сечения основного металла и могут явиться причиной разрушения сварного соединения. Для конструкций, работающих при вибрационных нагрузках, подрез существенно снижает прочность сварного соединения.

Способы предупреждения подрезов в сварных швах:

- соблюдать технику и технологию сварки;
- предварительно подогревать детали;
- снижать скорость сварки;
- строго соблюдать режимы сварки;
- вести сварку на короткой дуге;
- вести сварку угловых швов «в лодочку».

Наружные подрезы обнаруживаются внешним осмотром, внутренние – радиографическим методом. Вопрос о допустимости подрезов решается в зависимости от условий эксплуатации конструкции.

Если размеры подреза превосходят допускаемые, острую грань его следует сглаживать механическим путем для создания плавного перехода от основного металла к металлу шва. Если глубина подреза превосходит 0,5 мм (в зависимости от толщины основного металла), то дефектный участок заваривают ниточными валиками электродами малого диаметра.

Превышение выпуклости шва, неправильные угол и радиус перехода шва к основному металлу возникают потому, что при формировании шва избыток металла кристаллизуется в центре сварочной ванны в виде выпуклости

Возможные причины образования превышения выпуклости шва, неправильных угла и радиуса перехода шва к основному металлу:

- малая скорость сварки;

- низкая квалификация сварщика;
- сварка «углом назад» тонколистового металла;
- неправильный выбор параметров режима сварки;
- неудобное пространственное положение при сварке;
- неправильный угол наклона электрода;
- неравномерная скорость сварки (при автоматической или полуавтоматической сварке);
- неравномерная скорость подачи сварочной проволоки (при автоматической или полуавтоматической сварке);
- колебания напряжения в сети.

Предупредить образование превышения выпуклости шва, неправильных угла и радиуса перехода шва к основному металлу можно, строго соблюдая режим, технику и технологию сварки.

В результате образования этих наружных дефектов увеличивается расход сварочных материалов, из-за резкого перехода от наплавленного к основному металлу возникает местная концентрация напряжений, что в конечном итоге может снизить прочность сварного соединения и привести к образованию трещин.

Превышение выпуклости шва, неправильные угол и радиус перехода шва к основному металлу обнаруживаются внешним осмотром и измерениями, и могут удаляться механическим путем шлифовальным инструментом.

Превышение проплава – чрезмерная выпуклость со стороны корня шва при сварке стыка в нижнем положении. Дефект образуется, когда расплавленный металл сварочной ванны провисает под действием собственного веса.

Возможные причины образования превышения проплава:

- высокое значение сварочного тока;
- чрезмерная текучесть жидкого металла сварочной ванны;
- низкая квалификация сварщика;
- повышенная мощность сварочной горелки (при газовой сварке);
- неправильный выбор параметров режима сварки;
- повышенный зазор в стыке.

Предупредить образование превышения проплава можно, строго соблюдая точность зазора в стыке, режим, технику и технологию сварки, а также использованием для корневого слоя шва электродов с целлюлозным видом покрытия.

Превышение проплава обнаруживается внешним осмотром, удаляется механическим путем шлифовальным инструментом.

Натек – это металл шва, не имеющий сплавления с соединяемой поверхностью и образовавшийся в результате перераспределения наплавленного металла шва под действием силы тяжести. Натёки часто возникают при сварке угловых швов и стыковых горизонтальных швов вертикальных поверхностей в результате натекания жидкого металла на кромки холодного основного металла. Они могут быть местными, в виде отдельных застывших капель, или же иметь значительную протяженность вдоль шва.

Возможные причины образования натёков:

- использование некачественных электродов;
- неправильный выбор режима сварки из-за большого сварочного тока и длинной дуги;

- отклонение дуги от необходимого направления;
- ошибки в технике сварки (неправильный угол наклона электрода);
- низкая квалификация сварщика;
- наличие на свариваемых кромках толстого слоя окалины и загрязнений;
- неплотное поджатие ползунов (при электрошлаковой сварке);
- большой угол наклона изделия при сварке на подъем и спуск;
- недостаточное или излишнее смещение электрода с зенита (в кольцевых швах, свариваемых автоматической сваркой).

Для предупреждения образования натеков необходимо:

- увеличить ширину шва, повысив напряжение дуги;
- уменьшить количество металла, образующего выпуклость металла шва;
- соблюдать технику и технологию сварки.

В местах натеков часто выявляются непровары, трещины и другие дефекты.

Натеки выявляются внешним осмотром и устраняются механическим удалением избыточного металла.

Линейное и угловое смещение свариваемых кромок образуются под действием термического цикла сварки.

Возможные причины образования смещений:

- отсутствие приспособлений для фиксации свариваемых деталей;
- чрезмерная тепловая мощность дуги при сварке первого прохода шва;
- некачественная сборка соединения;
- несоблюдение порядка сварки соединения;
- низкая квалификация сварщика.

Смещение кромок ухудшает прочностные свойства сварного соединения и способствует образованию непровара и концентраций напряжений.

Смещение кромок выявляются внешним осмотром и измерением. Дефект устранению не подлежит, сварной шов должен быть удален и выполнен вновь.

Прожоги – это проплавление основного или наплавленного металла с возможным образованием сквозных отверстий. При этом обычно с другой стороны образуется натек. Прожог имеет неправильную воронкообразную форму с оплавленной и окисленной поверхностью. Особенно часто прожоги наблюдаются в процессе сварки тонкого металла и при выполнении первого прохода многослойного шва.

Возможные причины образования прожогов:

- недостаточное притупление кромок;
- большой зазор между кромками;
- завышенный сварочный ток или мощность горелки при невысоких скоростях сварки;
- плохое поджатие флюсовой подушки или медной подкладки (при автоматической сварке);
- низкая квалификация сварщика;
- неравномерная скорость сварки (при автоматической или полуавтоматической сварке);
- неравномерная скорость подачи сварочной проволоки (при автоматической или полуавтоматической сварке);
- колебания напряжения в сети.

Для предупреждения образования прожогов необходимо:

- снижать величину сварочного тока;
- следить за углом наклона между электродом и свариваемым изделием;
- контролировать и соблюдать технологию сборки и сварки.

Прожоги – недопустимый дефект сварного соединения, резко снижающий прочностные свойства изделий. Прожоги выявляются внешним осмотром и устраняются любым механическим способом и повторной заваркой.

Незаполненная разделка кромок выглядит как продольная непрерывная или прерывистая канавка на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного металла при сварке.

Неполное заполнение разделки кромок возникает при неправильно выбранных режимах сварки (силы сварочного тока, скорости сварки), а также при неправильном выборе разделки кромок.

Незаполненная разделка кромок – недопустимый дефект сварного соединения, уменьшает сечение сварного шва и резко снижает прочностные свойства изделий. Устранить данный дефект можно после зачистки и заварки дефектного места.

Асимметрия углового шва характерна при сварке металлов с различной теплопроводностью и неудобных пространственным положением сварки.

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

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

Примеры коробления сварных конструкций показаны на рисунке 9.11.

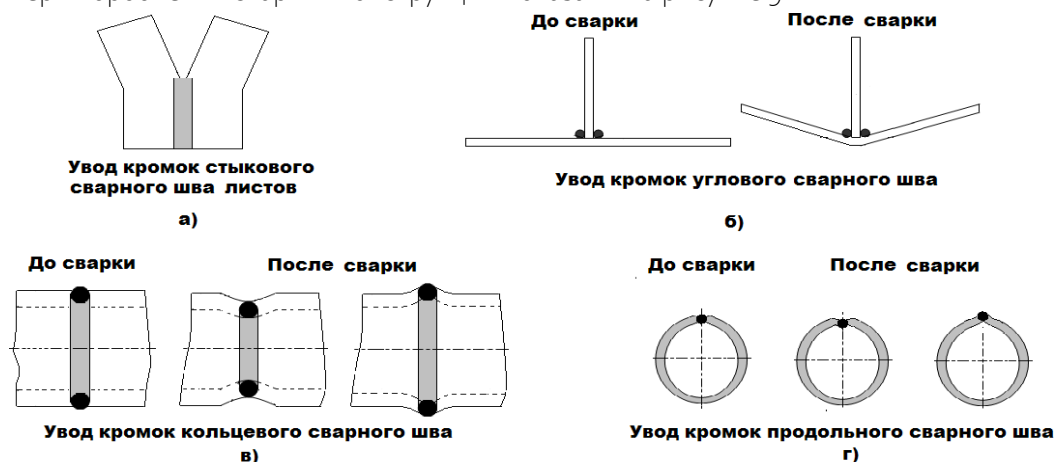


Рисунок 9.11 – Коробление сварных конструкций: а – при сварке стыковых швов листов; б – при сварке угловых швов листов; в, г – при сварке оболочковых конструкций.

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

Способы предупреждения коробления сварных конструкций:

- применение видов сварки с малой погонной энергией;
- назначение начальных размеров и формы заготовок, их взаимного расположения с учетом последующей усадки;
 - увеличение длины прихваток и уменьшение расстояний между ними в 1,5-2,0 раза при сварке высоколегированных аустенитных сталей по сравнению с теми же параметрами в соединениях углеродистых и низколегированных сталей;
 - проведение сварки без поперечных колебаний на режимах, которые характеризуются большими скоростями сварки, короткой дугой, минимально возможными токами с закреплением детали в приспособлении;
 - ограничение возможности более чем двухкратных ремонтных подварок;
 - выполнение каждого прохода при многопроходной сварке высоколегированных аустенитных сталей после охлаждения предыдущего до температуры ниже 100° С и тщательной его зачистки;
 - разбивка длинных швов на отдельные участки и сварка их обратно-ступенчатым и другими методами;
 - сварка толстостенных конструкций с симметричной разделкой кромок;
 - применение метода обратных деформаций при сварке, если позволяет конструкция изделия;
 - придание минимальных усиления и плавных очертаний (без подрезов, рисков и т.п.) сварным швам при зачистке;
 - применение медных подкладок, обдува воздухом.

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

Причины возникновения *неравномерной ширины, неровной поверхности, вогнутости корня шва, плохого повторного возбуждения* заключаются чаще всего в неправильно подобранных режимах сварки и разделки кромок, неудобном положении при сварке, низкой квалификацией сварщика.

Все эти дефекты выявляются внешним осмотром и устраняются механическим удалением избыточного металла. Устранить дефект вогнутости корня можно после зачистки и подварки дефектного места.

Прочие дефекты

Прочие дефекты (600) – все дефекты, которые не могут быть включены в предыдущие группы (рис. 9.12).

Классификация прочих дефектов сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012:

- ожог дугой (601) – местное повреждение поверхности основного металла рядом со сварным швом из-за горения дуги вне разделки кромок;

- брызги металла (602) – капли наплавленного или присадочного металла, образовавшиеся во время сварки и приварившиеся к поверхности основного металла или металла шва;
- вольфрамовые брызги (6021) – частицы вольфрама от электрода на поверхности основного металла или металла шва;
- поверхностные задиры (603) – повреждение поверхности вследствие удаления приваренных временных вспомогательных креплений;
- риска (604) – местное повреждение, вызванное шлифованием;
- забоина (605) – местное повреждение, вызванное использованием зубила или других инструментов;
- утонение металла (606) – уменьшение толщины изделия из-за снятия усиления ниже поверхности основного металла;
- дефект прихватки шва (607) – дефект, вызванный неправильной сваркой прихватки;
- смещение осей двухсторонних валиков (608) – смещение между осями двух валиков, выполненных на противоположных сторонах сварного шва;
- цвета побежалости (видимая оксидная пленка) (610) – слегка окисленная поверхность в зоне сварки, например, нержавеющей стали;
- изменение цвета (6101) – четко видимая окрашенная поверхность наплавленного металла или ЗТВ, обусловленная нагревом при сварке и/или недостаточной защитой, например, при сварке титана;
- окисленная поверхность (613) – сильно окисленная поверхность в зоне сварки;
- остаток флюса (614) – остаток флюса, не полностью удаленного с поверхности;
- остаток шлака (615) – шлак, не полностью удаленный с поверхности сварного шва;
- неправильный зазор в корне угловых швов (617) – излишний или недостаточный зазор между свариваемыми кромками;
- вздутие (618) – дефект, вызванный продолжительным нагревом сварных соединений из легких сплавов на стадии кристаллизации.

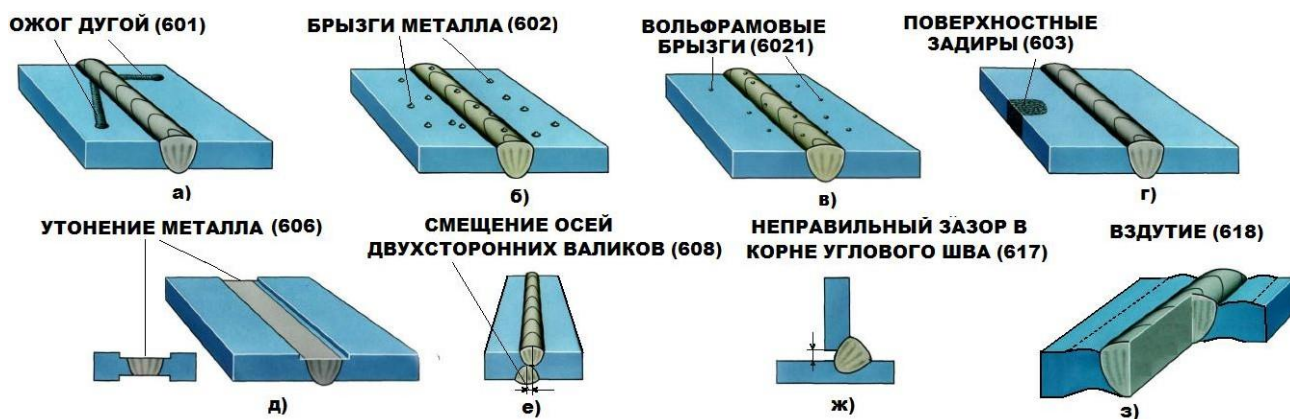


Рисунок 9.12 – Классификация отклонений формы и размера сварного шва по ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012: а – ожог дугой; б – брызги металла; в – вольфрамовые брызги; г – поверхностные задиры; д – утонение металла; е – смещение осей двухсторонних валиков; ж – неправильный зазор в корне угловых швов; з – вздутие

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

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

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

При сварке высоколегированных коррозионностойких сталей необходимо выполнять следующие требования:

- перед прихваткой и сваркой околошовную зону основного металла покрывать защитным покрытием (технологической изоляцией);
- возбуждение дуги производить только на поверхности свариваемых кромок или на наплавленном металле;
- сварку незамкнутых стыков производить с применением вводных и выводных планок, изготавливаемых из марки стали основного металла;
- при механизированных способах сварки устанавливать малый вылет электрода (при увеличении вылета повышается разбрызгивание);
- сварочную проволоку перед употреблением необходимо обезжирить, зачистить и просушить.

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

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

Приварка и удаление вспомогательных элементов (сборочных устройств, временных креплений и др.) должны производиться в соответствии с чертежами и нормативной документацией сварщиком, допущенным к сварке данного изделия. При установке временных креплений на конструкциях из высоколегированных аустенитных сталей околошовную зону следует покрывать защитным покрытием.

Удаление швов временных креплений производится газовой резкой или воздушно-дуговой строжкой, оставляя металл шва толщиной 0,5-3 мм над поверхностью основного металла, с последующей зачисткой наждачным кругом заподлицо с поверхностью металла. При необходимости осуществляется капиллярный или магнитопорошковый контроль на отсутствие трещин (для закаливающихся сталей).

Ожог дугой, брызги металла, поверхностные задиры, риски, забоины, риски, забоины выявляются внешним осмотром и зачищаются шлифовальным инструментом таким образом, чтобы глубина зачистки не выводила толщину стенки за пределы минусовых допусков, оговоренных в соответствующих ГОСТах и ТУ на основной материал.

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

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

Цвета побежалости, изменение цвета, окисленная поверхность – участки металла шва и околошовной зоны, имеющие оттенок от желтого до синего (цвета побежалости). Чаще всего появляются при сварке нержавеющей сталей за счет выгорания хрома, входящего в состав аустенитных сталей, и

окисления поверхности сварного соединения. Окисленная поверхность при сварке титановых сплавов образуется из-за недостаточной защиты расплавленного металла от азота и кислорода воздуха, присутствия в защитном газе примесей, грязи, влаги.

Данные дефекты свидетельствуют о наличии в сварном соединении хрупкого пережжённого металла, который состоит из окисленных зерен, обладающих малым взаимным сцеплением. Кроме того, поверхности зоны выгорания хрома при эксплуатации сварной конструкции быстрее подвергаются коррозии.

Способы предупреждения цветов побежалости и окисленной поверхности:

- применять поддув защитного газа с обратной стороны шва;
- увеличивать скорость сварки и снижать тепловложение (например, использование техники непрерывной подачи присадочной проволоки);
 - подавать защитный газ на шов по окончании сварки в течение времени, определяемого технологией изготовления изделия;
 - использовать для сварки мелких деталей и узлов герметичные камеры, заполненные защитным газом.

Дефекты выявляются внешним осмотром. Качество сварного шва и степень потери пластичности, например, при сварке титана, можно проконтролировать по цветам побежалости: при светлом цвете – светло-желтом, желтом, голубом потеря пластичности меньше, чем при синем и темно-голубом цвете побежалости, при котором происходит хрупкое разрушение металла.

Способы удаления цветов побежалости на сварных швах, включая ЗТВ:

- зачистка стальной щеткой (щеткой из нержавеющей стали для аустенитных сталей);
- шлифовка (шлифмашиной, наждачной шкуркой и др.);
- пескоструйная обработка (стеклянной крошкой);
- электролизная полировка;
- пассивация (нанесение на поверхность окислителей, которые растворяют железо, но не оксиды легирующих элементов – раствор 20%-ной азотной кислоты в течение 30 минут при 55° С);
- травление (в азотной, серной, соляной кислотах).

Сварные швы при сварке титановых сплавов, имеющие серую сморщенную поверхность или порошкообразный налет любого цвета, удаляются путем вырубки до здорового металла и завариваются вновь.

9.2 Неразрушающие методы контроля и испытаний изготавливаемой сварной продукции

Контроль технологических факторов

Качество **исходных материалов** (основного металла, электродов, сварочной проволоки, флюсов, защитных газов и т.п.) должно удовлетворять требованиям НТД и сертификатов. Если нет гарантии изготовителей или качество исходных материалов внушает опасения, то их дополнительно проверяют на соответствие НТД и ГОСТ.

Качество и свариваемость материалов проверяют в двух случаях:

- 1) при выборе материалов и разработке технологии сварки, т.е. при подготовке производства на стадии проекта;
- 2) при запуске материалов в производственный цикл, т.е. при технологической подготовке производства.

Последняя проверка связана с возможными отклонениями плавок основного металла, проволоки, а также партий электродов и флюсов от сертификатных значений. Эти отклонения могут резко ухудшить свариваемость металла.

Технический уровень и состояние **оборудования** следует поддерживать в заданных пределах, соблюдая график технического обслуживания и требования соответствующих инструкций. В сварочных аппаратах проверяют исправность регулирующих механизмов, наличие приборов, качество и длину токоподводящих проводов, состояние электрических контактов и токоподводящих мундштуков. У контактных машин контролируют форму и состояние поверхности электродов. На установках для сварки в защитных газах проверяют исправность газовых редукторов, расходомеров, шлангов, сопел горелок и газозащитных устройств и т.п.

Качество **подготовки и сборки** заготовок под сварку проверяют обычно внешним осмотром и замерами. Технически это сравнительно простые контрольные операции. Однако их недооценка может приводить к появлению опасных сварочных дефектов. Недопустимы большие или неравномерные зазоры, серповидность, вмятины, неправильные углы разделки кромок, их окисленность, загрязненность и т.п. Для измерения зазоров, углов разделки кромок применяют линейки, а также специальные или универсальные

шаблоны.

Режимы сварки контролируют в первую очередь с целью соблюдения параметров процесса (тока, напряжения и скорости сварки в установленных пределах). Используют визуальное наблюдение по приборам и по внешнему виду шва. Правильное наблюдение за процессом сварки позволяет вовремя предотвратить появление дефектов.

Квалификацию операторов следует проверять на всех этапах технологического процесса. Для этого следует вести периодическую аттестацию сборщиков, сварщиков и дефектоскопистов.

При неразрушающих испытаниях, осуществляемых обычно на самих изделиях, оценивают те или иные физические свойства, лишь косвенно характеризующие качество, прочность или надежность соединения. Эти свойства связаны с наличием дефектов и их влиянием на передачу энергии или движение вещества в материале изделий.

Для сварных соединений широко применяют только шесть: визуально-измерительный, радиационный, акустический (ультразвуковой), магнитный, капиллярный и течеискание.

Визуально-измерительный контроль (ВИК) применяют в трех вариантах: внешний осмотр соединений и их замеры, осмотр с помощью оптических приборов (эндоскопов и т.п.) и, наконец, активный ВИК в процессе сварки с оперативной обратной связью для регулирования технологических режимов.

Методы ВИК, а особенно внешний осмотр швов, осмотр оборудования и вспомогательных материалов (электродов, флюсов) – это наиболее простые, дешевые и доступные методы по сравнению с любыми другими. Их следует применять в первую очередь до использования остальных методов. Однако эффективность ВИК может быть достигнута обычно при достаточно высокой квалификации контролеров. Во время внешнего осмотра швов они должны уметь выявить опасные дефекты

Своевременное устранение дефектов, выявленных внешним осмотром, и выяснение их причин позволяет оперативно регулировать качество технологии и уменьшить объемы последующих этапов контроля. При внешнем осмотре широко применяют шаблоны и эталоны для измерения как швов, так и параметров подготовки кромок.

Приборы визуального контроля

Приборы ВИК используют:

а) для непосредственного наблюдения объекта в пределах расстояния наилучшего зрения – 250 мм (лупы, микроскопы);

б) для дистанционного наблюдения скрытых объектов с помощью эндоскопов, перископов и прочих приборов, в том числе с волоконной оптикой;

в) для преобразования визуального сигнала в телевизионную или телеметрическую информацию о параметрах шва, процесса сварки, ванны расплавленного металла и др.

При внешнем осмотре применяют обзорные лупы и биноклярные налобные лупы с увеличением до 2^{\times} . Для поиска и оценки дефектов используют складные карманные лупы с увеличением $2,5-7^{\times}$ и $7-20^{\times}$, а также телескопические лупы.

При дистанционном ВИК применяют специальные техноэндоскопы и перископы, а также медицинские бронхоскопы, цистоскопы.

Следует всегда помнить, что внешний осмотр швов – простая, но очень важная контрольная операция. Ее следует проводить тщательно и квалифицированно, с обязательной регистрацией всех наружных дефектов для их статистического анализа и выяснения причин. Тогда внешний осмотр будет дешевым и эффективным средством повышения качества сварки.

При **радиационном контроле** используют главным образом тормозное и γ (гамма)-излучение нуклидов (изотопов). Тормозное излучение и γ -кванты – это разновидность ионизирующего излучения в виде электромагнитных колебаний, имеющих длины волн λ по сравнению с видимым светом $\lambda=(4-7)\times 10^{-4}$ мм в миллионы раз меньше. Для R -лучей это около $\lambda_R = (0,1- 0,01)$ нм, а для γ -лучей $\lambda_\gamma = (10^{-3}- 10^{-7})$ нм.

Столь короткие длины волн и соответственно высокие энергии квантов R, γ лучей обуславливают их высокую проникающую способность.

При прохождении через сварные швы эти лучи ослабляются по-разному в целом металле и на менее плотных участках-дефектах (порах, шлаках, трещинах).

При радиационном контроле проникающее излучение проходит через изделие и затем регистрируется детектором.

В связи с разной плотностью металла и дефектов на детекторе получают сигналы от дефектов как их "тени". Если дефект – непровар (или пора, шлак), то его плотность обычно значительно меньше, чем у металла, и на детекторе регистрируют более высокую интенсивность излучения под дефектом. Если дефект более плотный, чем металл шва, например вольфрамовое включение, то регистрируют понижение интенсивности. Для возможности количественной оценки сигналов используют калиброванный эталон дефектометр с бороздками или проволочками разных размеров. Материал эталона должен быть аналогичен материалу контролируемого изделия.

Ультразвуковой контроль.

Упругие механические колебания, распространяющиеся в воздухе, воспринимают обычно как звуки. Такие колебания принято называть акустическими. Если их частота более 20000 Гц (20 кГц), т.е. выше порога слышимости для человека, то такие колебания называют ультразвуковыми (УЗК). В дефектоскопии используют УЗК с частотой около 0,5-20 МГц.

При получении УЗ-колебаний для контроля качества изделий обычно применяют пьезоэлементы. Пьезопластина, к которой приложено с частотой переменное электрическое поле, излучает с той же частотой УЗ-колебания, которые, распространяясь, образуют акустическое поле. В этом поле механическая энергия передается со скоростью в форме волн.

В неограниченном объеме в зависимости от среды могут возникать УЗ-волны двух основных типов: продольные и поперечные. Продольные волны могут быть возбуждены в любых средах, а поперечные – только в твердых телах.

При наличии несплошности образуется отраженное поле и дифрагированное поле рассеяния.

За несплошностью при ее значительных размерах имеется акустическая тень, а поверхность несплошности отражает УЗ-колебания. Регистрируя с помощью приемника-искателя ослабление УЗ-волны или с помощью искателя – эхо, т.е. отраженную УЗ-волну, можно судить о наличии несплошностей в сварном шве. Это основа двух главных методов УЗ-контроля: теневого и эхо-метода.

Аппаратура для УЗ-контроля обычно включает: ультразвуковые импульсные дефектоскопы с искателями, комплект стандартных образцов (эталонов), испытательные (тест-) образцы, вспомогательные приспособления или устройства для соблюдения параметров контроля и сканирования.

Основными измеряемыми характеристиками дефектов при УЗ-контроле служат: наибольшая амплитуда сигнала, координаты (глубина H , расстояние L) дефекта, условные размеры (длина, ширина, высота) дефекта, число дефектов (на шов, стык и т.п.), параметры формы дефекта.

Магнитные и электромагнитные методы контроля

Электромагнитные (ЭМ) методы контроля основаны на регистрации эффекта взаимодействия электромагнитного поля с контролируруемыми эталонными объектами контроля. Изменение структуры ЭМ-поля вблизи шва с дефектом регистрируется сканирующим датчиком, а затем измерительным прибором. При этом возможно использование промежуточного носителя информации, например магнитной ленты.

Для контроля сварных соединений находят применение *магнитные* (магнитостатические) и *вихретоковые* методы. Причем первые пригодны только для ферромагнитных сталей, в то время, как вторые – для любых токопроводящих материалов.

По способам регистрации магнитных полей рассеяния, обусловленных дефектами-неплотностями, магнитный контроль подразделяют главным образом на магнитопорошковую (Мпд) и магнитографическую (Мгд) дефектоскопию. При магнитном контроле используют: а) остаточные поля, полученные от постоянного или импульсного униполярного намагничивания, и б) приложенные поля – постоянные, переменные, комбинированные.

Сущность Мп-метода в том, что на поверхность намагниченной детали наносят ферромагнитный порошок. Под действием втягивающей (пондеромоторной) силы магнитных полей рассеяния частицы порошка ориентируются по направлению магнитных силовых линий, перемещаются и скапливаются над дефектами, обрисовывая их контуры. ФМ-порошки можно применять в сухом виде с размером частиц 5-10 мкм, но лучше в виде суспензий с керосином, маслом, мыльным раствором или в виде магнитного аэрозоля.

Сущность магнитографического (Мг-) метода заключается в намагничивании контролируемого участка сварного шва при одновременной записи магнитных полей рассеяния на магнитную ленту. В дальнейшем магнитограмму с ленты считывают с помощью магнитной головки воспроизводящих устройств магнитографических дефектоскопов. На магнитной ленте в приложенном постоянном поле регистрируются тангенциальные составляющие полей, содержащие информацию о величине и характере дефектов.

Капиллярные методы и течеискание.

Физические основы капиллярной дефектоскопии (Кд) базируются на явлениях:

- 1) капиллярного проникновения,
- 2) сорбции пенетранта,
- 3) светового контраста дефекта и окружающей поверхности.

Методы капиллярного контроля классифицируют по особенностям индикаторных следов дефектов как люминесцентную (ЛКд), цветную (ЦКд) и люминесцентно-цветную (ЛЦКд) дефектоскопию.

Наиболее целесообразно использовать Кд-контроль в первую очередь для соединений из немагнитных материалов: аустенитные стали, алюминиевые и титановые сплавы, латуни, бронзы и т.п.

Для выявления сквозных дефектов в сварных изделиях и в соединениях используют более десяти разных методов течеискания. При течеискании применяют для испытания изделий на герметичность контрольное

(пробное) вещество в виде газа или жидкости.

Гидроконтроль герметичности изделий может быть осуществлен тремя способами: гидродавлением, наливом и поливом. Первым способом, как правило, испытывают замкнутые системы (емкости, трубопроводы), работающие под давлением. Для гидравлических систем как контрольное вещество используют обычно рабочую жидкость. Газовые системы также часто контролируют жидкостями, поскольку это менее опасно и более экономично.

Наливом воды испытывают открытые баки, отсеки судов, цистерны. Выдержка обычно до 24 ч. По изменению уровня воды регистрируют и наличие течей. Контроль поливом воды осуществляют, поливая с расстояния около 3 м одну сторону шва под давлением до 1 МПа (10 ат). Другую сторону осматривают для обнаружения течей. Наливом и поливом воды могут быть выявлены дефекты диаметром до 0,5 мм.

Керосиновая проба. Керосин не полярно-активен, обладает низкой вязкостью, растворяет пленки жира и пробки в неплотностях. Поэтому его проникающая способность очень высока. Методика контроля достаточно проста. Перед испытанием соединения простукивают молотком вне зоны термического влияния и тщательно очищают от шлака. На сторону, которая удобна для осмотра, наносят меловую обмазку из расчета ~ 400 г мела или каолина на 1 л воды или незамерзающего растворителя (зимой). Противоположную сторону обильно несколько раз смачивают керосином. Через 5-10 мин на меловом фоне четко выявляются керосиновые или цветные пятна. Для повышения эффективности контроля применяют после нанесения керосина обдувку, вакуумирование со стороны обмазки, а также вибрацию.

Пузырьковый метод. Этот метод основан на регистрации локальных утечек по появлению пузырьков газа. Применяют три варианта пузырькового методы: пневматический, пневмогидравлический и вакуумный.

В *пневматическом* методе используют воздух, а для индикации утечки применяют пенообразование. Реализуют пневматический метод, либо наполняя замкнутые изделия сжатым воздухом, либо обдувая швы струей сжатого воздуха. На обратную сторону соединений наносят пенообразующее вещество.

Пневмогидравлический метод применяют обычно для замкнутых сосудов небольшого объема. Контрольный газ (воздух, азот) подают под избыточным давлением в сосуд с последующим погружением его в индикаторную жидкость, где наблюдают образование пузырьков.

Вакуумно-пузырьковый метод применяют в основном для открытых изделий с односторонним подходом к соединению. Используют переносные вакуумные камеры-присоски, накладываемые уплотнителем из губчатой резины на контролируемый участок соединения. Предварительно на шов наносят мыльный водный раствор. Вакуум-камеру устанавливают на испытуемый участок и создают в ней по вакуумметру разрежение. Образование пузырьков над неплотностями иногда с химическим индикатором наблюдают через смотровое окно из оргстекла.



9.3 Требования к качеству сварных соединений из полимерных материалов. Виды и методы контроля. Основные дефекты при сварке полимерных материалов, причины возникновения

Контроль качества сварных соединений выполненных сваркой с закладными нагревателями.

О ходе полученного соединения и соблюдения параметров сварки можно судить по распечатке процесса сварки с параметрами, которую получают от запоминающего устройства сварочного аппарата. Такая распечатка в виде небольшого протокола (рис. 9.13) содержит всю необходимую информацию об условиях сварки: технологических параметрах, температуре воздуха, типе соединительной детали и т.д.

ЗАПИСЬ ЭЛЕКТРОМУФТОВОЙ СВАРКИ	
Серийный номер:	AMB85CE0001 [V4.0]
Дата:	15/10/97
Время:	15:49.38
Температура:	24.5 Deg C
Номер сварки:	2
Сопротивление спирали:	1.387 Ohms
Заданное время сварки:	20 сек
Достигнутое время:	20.0 сек
Достигнутая энергия:	20.324 KJ
Статус сварки:	ЗАВЕРШЕН

Разработчик и производитель:	
FUSION GROUP MANUFACTURING, UK	
Тел.:	+44 1246 260111
Факс:	+44 1246 450472

а)

ЗАПИСЬ ЭЛЕКТРОМУФТОВОЙ СВАРКИ				
Серийный номер: AMB85CE0001 [V4.0]				
Дата: 15/10/97				
Время: 15:49:38				
Температура: 24.5 Deg C				
Номер-сварки: 2				
Сопротивление спирали: 1.387 Ohms				
Заданное время сварки: 20 сек				
Достигнутое время: 20.0 сек				
Достигнутая энергия: 20.324 kJ				
Статус сварки: ЗАВЕРШЕН				
----- ПРОФИЛЬ СВАРКИ -----				
Время (C)	Входн. напряжен. (V)	Выходн. напряжен. (V)	Выходн. ток (A)	Выходн. энергия (kJ)
1.0	220	34.4	9.4	0.1
2.1	220	39.4	20.2	0.8
4.1	220	39.4	26.6	2.7
6.0	220	39.4	28.0	4.8
8.1	220	39.5	28.2	7.1
10.1	220	39.5	28.3	9.3
12.1	220	39.5	28.2	11.5
14.0	220	39.5	28.2	13.7
16.1	220	39.5	28.2	16.0
18.0	220	39.5	28.2	18.2
20.0	220	39.5	28.1	20.3

Разработчик и производитель:				
FUSION GROUP MANUFACTURING, UK				
Тел: +44 (0)1246 260111				
Факс: +44 (0)1246 450472				

б)

Рисунок 9.13 – Распечатка протокола сварки: а – краткая версия; б – полная версия

Сравнительный анализ полученных распечаток с паспортными требованиями на данный вид соединительной детали является объективным показателем для того, что бы говорить о надежности каждого полученного соединения. Соответственно, при проведении работ на трассе строительства должны быть обеспечена точная маркировка сварных соединений в соответствии с порядковым номером сварочного протокола.

Внешний осмотр и инструментальный контроль

Внешний вид сварных соединений, выполненных при помощи деталей с закладными нагревателями, должен отвечать следующим требованиям:

- ✓ трубы за пределами соединительной детали должны иметь следы механической обработки (зачистки);
- ✓ индикаторы сварки деталей должны находиться в выдвинутом положении;
- ✓ угол излома сваренных труб не должен превышать 5° ;
- ✓ поверхность деталей не должна иметь следов температурной деформации или сгоревшего полиэтилена;
- ✓ по периметру детали не должно быть следов расплава полиэтилена, возникшего в процессе сварки.

Критерии оценки внешнего вида соединений, выполненных при помощи муфт, тройников, отводов и переходов с закладными нагревателями.

1. Хорошее соединение, деталь плотно охватывает конца свариваемых труб (рис. 9.14).

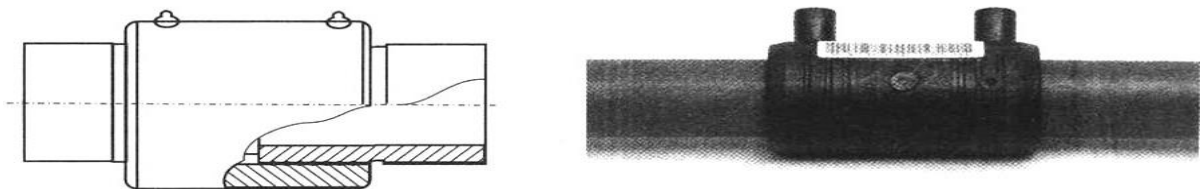


Рисунок 9.14 – Качественно выполненное сварное соединение с ЗН

Признаки – гладкая поверхность детали без видимых зазоров.

Причина – соблюдение технологических операций и параметров сварки в пределах нормы.

2. Зазор – брак (рис. 9.15).

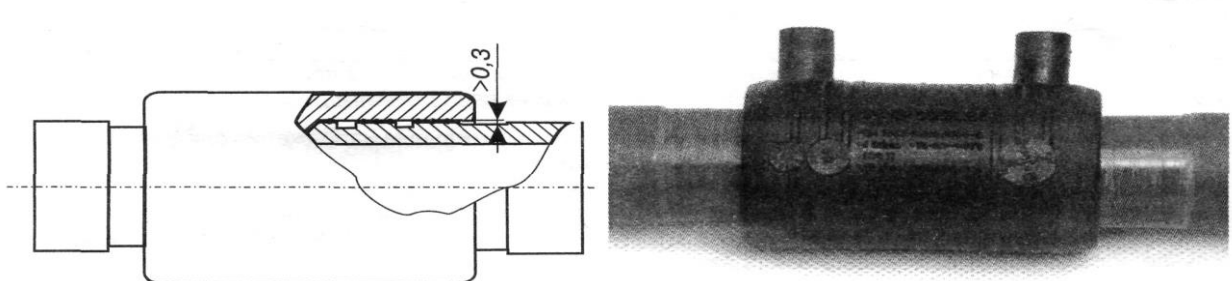


Рисунок 9.15 – Некачественно выполненное сварное соединение с ЗН (зазор)

Признаки – зазор между охватывающей частью детали и трубой более 0,3 мм.

Причина – чрезмерная обработка поверхности трубы или эллипсность трубы.

3. Несоосность или переломы (искривление осей трубы и детали) – брак (рис. 9.16).

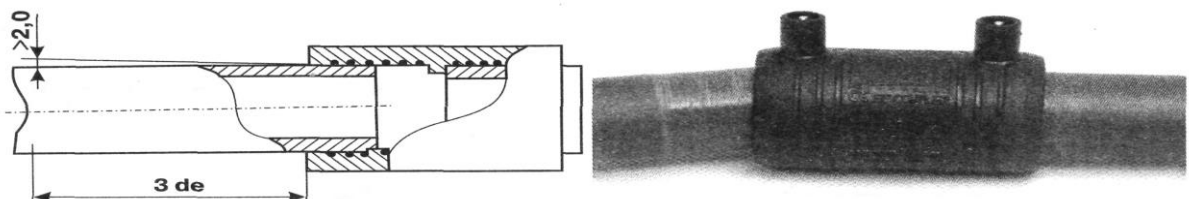


Рисунок 9.16 – Некачественно выполненное сварное соединение с ЗН (искривление осей трубы и детали)

Признаки – непараллельность (искривление осей трубы и детали) более 2,0 мм на длине $L=3d_e$.

Причина – недостаточное заглубление концов труб внутрь детали или деформация соединения до

его остывания.

4. Появление расплава полиэтилена по торцам детали – брак (рисунок 9.17).

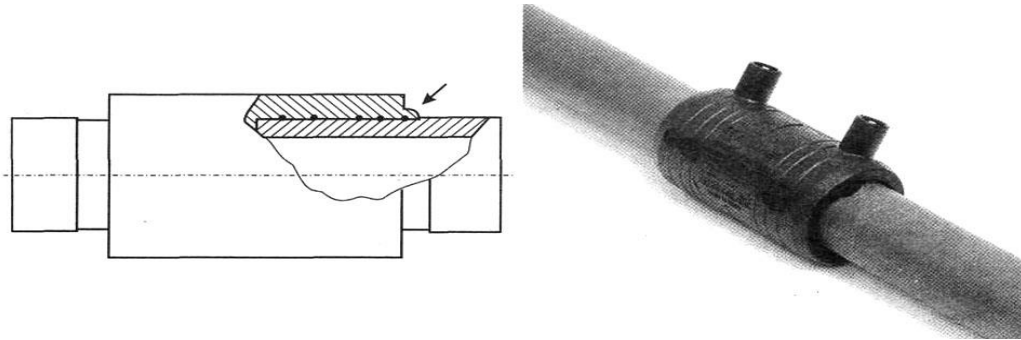


Рисунок 9.17 – Некачественно выполненное сварное соединение с ЗН (появление расплава полиэтилена по торцу)

Признаки – частичное появление расплава полиэтилена по торцам детали не допускается.

Причина – сдвиг трубы в процессе сварки или смещение спирали.

5. Индикаторы сварки в исходном положении – брак (рисунок 9.18).

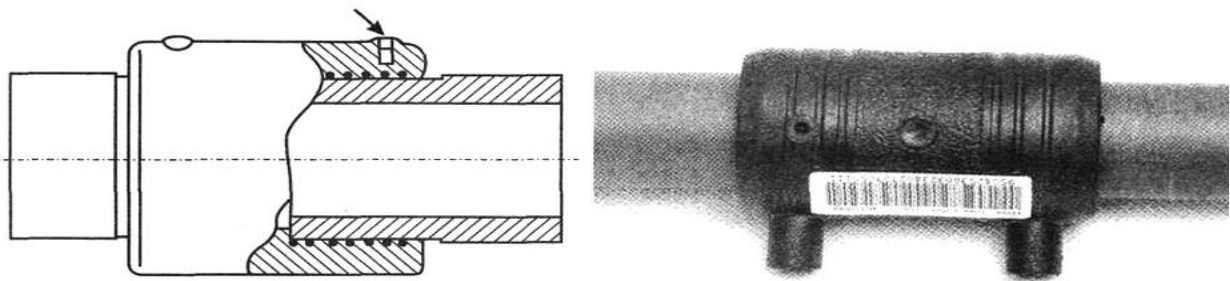


Рисунок 9.18 – Некачественно выполненное сварное соединение с ЗН (индикаторы сварки в исходном положении)

Признаки – индикаторы сварки в исходном положении не допускаются.

Причина – недостаточное время сварки или недостаточное напряжение, подаваемое на спираль детали.

6. Местное расплавление поверхности детали – брак (рисунок 9.19).

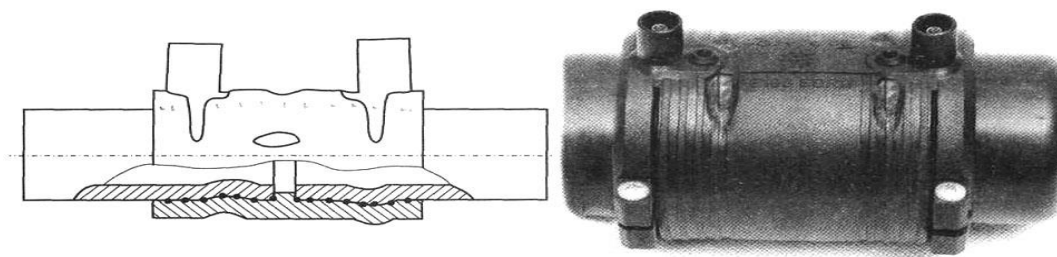


Рисунок 9.19 – Некачественно выполненное сварное соединение с ЗН (местное расплавление поверхности детали)

Признаки – местное расплавление поверхности детали не допускается.

Причина – чрезмерное время нагрева или напряжения питания.

Критерии оценки внешнего вида соединений, выполненных при помощи седловых отводов с закладными нагревателями.

1. Хорошее соединение, деталь плотно охватывает конца свариваемых труб (рисунок 9.20).

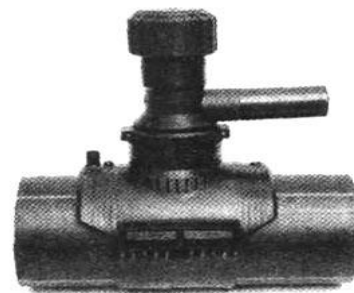
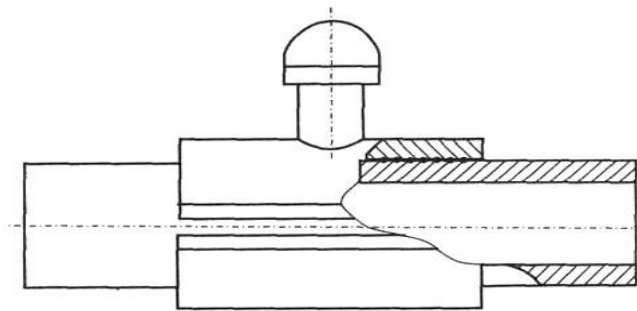


Рисунок 9.20 – Качественно выполненное сварное соединение с ЗН

Признаки – гладкая поверхность детали без искривлений и зазоров.

Причина – соблюдение технологических операций и параметров сварки в пределах нормы.

2. Зазор – брак (рисунок 9.21).

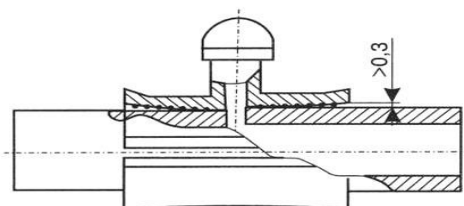


Рисунок 9.21 – Некачественно выполненное сварное соединение с ЗН (зазор)

Признаки – зазор между охватывающей частью детали и трубой более 0,3 мм.

Причина – чрезмерная обработка поверхности трубы или недостаточное усилие прижатия отвода.

3. Температурная деформация наружной поверхности детали – брак (рисунок 9.22).

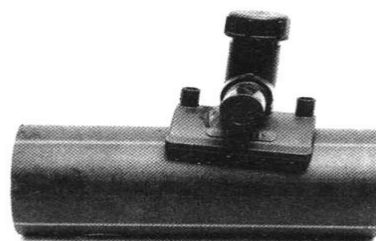
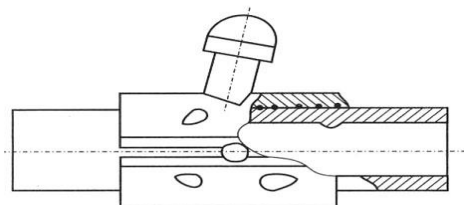


Рисунок 9.22 – Некачественно выполненное сварное соединение с ЗН
(температурная деформация)

Признаки – появление гофра на поверхности.

Причина – чрезмерное время нагрева или напряжения питания.

В основном, причинами появления дефектов при сварке с закладными нагревателями являются несоответствие материала трубы и детали с закладными нагревателями (муфта, седловой отвод), несоблюдение температурных режимов при подготовке и сварке, некачественные поставляемые детали с закладными нагревателями, особенно для отводов, (некачественные материалы для нагревательных спиралей, несоответствие их сопротивления задаваемым режимам), несоблюдение времени выдержки после сварки, перед опрессовкой.

Испытание на сплющивание

Испытаниям на сплющивание подвергают соединения, полученные сваркой при помощи деталей муфтового типа с закладными нагревателями.

Испытания проводят на образцах-сегментах путем сжатия труб у торца соединения до величины, равной двойной толщине стенки (рисунок 9.23).

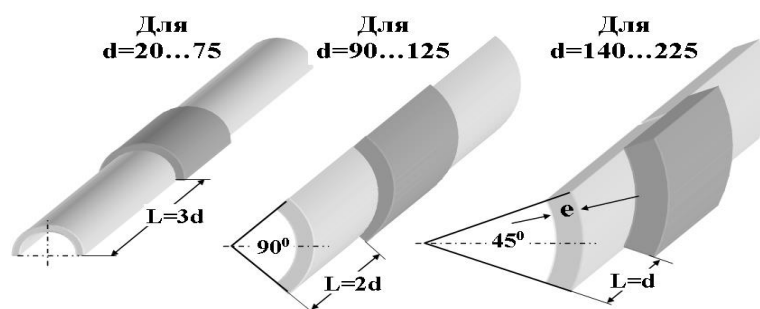


Рисунок 9.23 – Общий вид образцов-сегментов

Стойкость сварного шва к сплющиванию характеризуется процентом отрыва, который является отношением длины сварного шва, не подвергнувшейся отрыву, к полной длине сварного шва в пределах одной трубы. Результаты испытаний считают положительными, если на всех испытанных образцах отрыв не наблюдался или если отношение длины шва, не подвергнутой отрыву, к общей измеренной длине шва составляет не менее 40 %.

Для определения стойкости муфтовых соединений к сплющиванию подготавливаются патрубки с расположенными по центру муфтами, изображенные на рисунке 9.23.

Длина патрубка и количество образцов, изготавливаемых из каждого патрубка, должны соответствовать таблице 9.1.

Таблица 9.1

Параметры и количество испытываемых образцов

Номинальный диаметр труб d_n , мм.	Длина свободной части образца L , мм, не менее	Количество образцов из одного патрубка, шт.	Угол сегмента, град.
20-75	$3d_n$	2	180
90-125	$2d_n$	4	90
140-225	d_n	8	45

Не ранее чем через 24 часа после сварки производят разрезание сварного муфтового соединения вдоль оси на испытательные образцы-сегменты в диаметральном сечении.

Образец выдерживают не менее 2 часов при температуре $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Для испытаний применяют механизированный пресс, обеспечивающий сближение плит со скоростью (100 ± 10) мм/мин; допускается использование прессы со скоростью сближения плит (200 ± 2) мм/мин.

Подготовленный к испытанию образец устанавливают между обжимными плитами прессы так, как показано на рисунке 9.24. Затем осуществляют сближение обжимных плит до тех пор, пока расстояние между ними не сократится до удвоенной толщины стенки трубы.

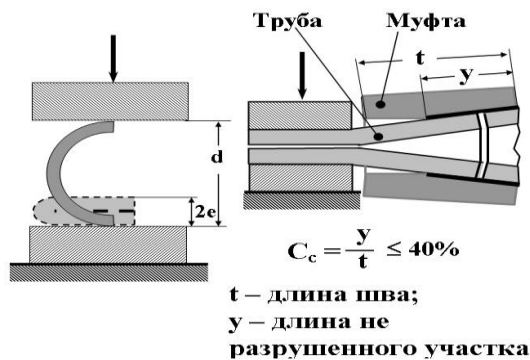


Рисунок 9.24 – Схема испытания образцов-сегментов на сплющивание

Допускается проведение испытаний с использованием обжимных плит без округления кромок. В этом случае в начале испытания расстояние от торца соединительной детали до торца губок должно быть (20 ± 3) мм.

После снятия нагрузки образец извлекают из пресса или тисков и осматривают, определяя наличие отрыва трубы от муфты или соединительной детали.

В случае если на части длины шва обнаружен отрыв трубы или соединительной детали от муфты, штангенциркулем измеряют длину части шва, не подвергнувшейся отрыву, и расстояние между крайними витками закладного нагревателя в зоне сварки в пределах одной трубы, которое принимают за длину шва.

Длина шва, не подвергнувшаяся отрыву при сплющивании C_c , %, определяется по формуле:

$$C_c = \frac{y}{t} 100,$$

где y – длина шва, не подвергнувшаяся отрыву, мм; t – длина зоны сварки (длина шва) в пределах одной трубы, определяемая по расстоянию между крайними витками спирали закладного нагревательного элемента, мм.

Для удобства измерения допускается дополнительное разрезание образца любым режущим инструментом в продольном и поперечном направлениях.

Испытания на отрыв

Обязательно только для седловых отводов.

Сварное соединение подвергается испытанию целиком и продолжается до полного отделения седлового отвода от трубы.

В результате испытания соединения излом в месте сварки седлового отвода с трубой должен иметь полностью или частично пластичный характер разрушения по замкнутому периметру сварного шва. Хрупкое разрушение не допускается.

В процессе проведения испытаний фиксируется также разрушающая нагрузка, но ее значение не нормируется.

Испытания на отрыв проводят на образцах седловых отводов, сваренных с полиэтиленовыми трубами с номинальным наружным диаметром от 63 до 225 мм, в зависимости от типоразмера седлового отвода.

Длина полиэтиленовой трубы (патрубка) принимается равной длине седлового отвода.

Перед испытанием образцы кондиционируют при температуре (23 ± 2) °С не менее 2 часов. Испытания проводят при температуре (23 ± 2) °С.

Допускается для упрощения фиксации образца в испытательной машине производить срезание хвостика седлового отвода, а также укорочение горловины (отводящего патрубка).

Для проведения испытаний возможно использование машин для испытания на сжатие типа ИП6010-100-1 с наибольшей предельной нагрузкой 100 кН. Испытательная машина должна быть снабжена оснасткой, изготовленной по чертежам, утвержденным в установленном порядке, и обеспечивающей приложение нагрузки по одной из двух схем испытания (рис. 9.25).

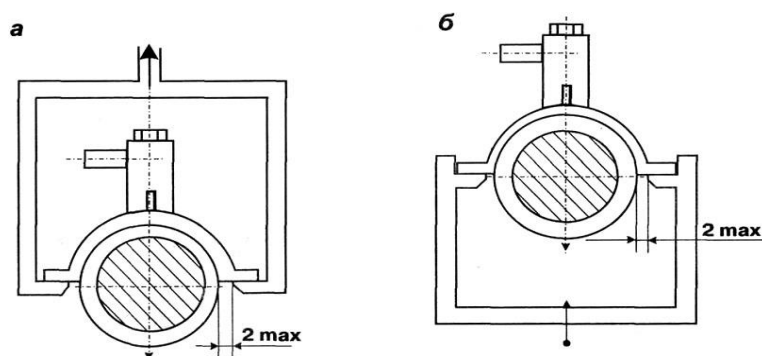


Рисунок 9.25 – Схемы испытания седлового отвода на отрыв:
а – отрыв при растяжении; б – отрыв при сжатии

Внутри полиэтиленового патрубка испытываемого образца для передачи усилия вводят металлический сердечник.

Нагружение испытываемого образца проводят со скоростью (100 ± 10) мм/мин до полного отрыва корпуса седелки от полиэтиленовой трубы или до деформирования деталей узла соединения, вследствие чего испытательная нагрузка снижается до нуля.

Допускается проведение испытания со скоростью (20 ± 2) мм/мин.

Испытание на стойкость к удару.

Испытаниям на стойкость к удару подвергаются соединения, выполненные при помощи крановых седловых отводов.

Испытания проводят на образцах в виде патрубков с расположенным посередине седловым отводом.

При испытании на стойкость к удару определяется способность образца выдерживать внутреннее пневматическое давление $(0,6 \pm 0,05)$ МПа в течение 24 часов после нанесения по нему двух ударов падающим грузом массой $(5,0 \pm 0,05)$ кг.

Результаты испытаний считаются положительными, если оцениваемые образцы выдерживают испытание при отсутствии видимых разрушений или разгерметизации.

Сущность метода заключается в нанесении удара падающим грузом цилиндрической формы с высотой $(2,0 - 0,01)$ м по поверхности крышки седлового отвода с последующим определением герметичности испытываемого образца. Схема испытаний представлена на рисунке 9.26.

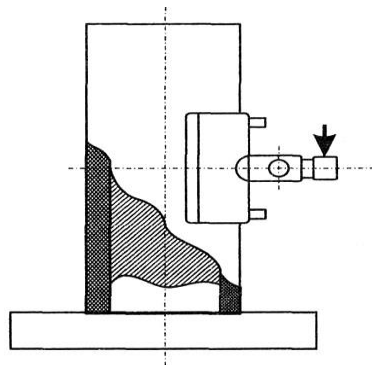


Рисунок 9.26 – Схема испытания на стойкость к удару

Испытываемый образец должен представлять собой седловой отвод, приваренный посередине полиэтиленового патрубка, длина свободных концов которого должна равняться номинальному наружному диаметру трубы с погрешностью в пределах ± 10 мм.

Перед испытаниями образцы кондиционируют при температуре (23 ± 2) °С не менее 2 часов. Испытания проводят при температуре (23 ± 2) °С.

Образец надевают на стальной сердечник, установленный на жесткой опоре. Образец фиксируют таким образом, чтобы удар падающим грузом был направлен параллельно оси трубы, ось бойка пересекалась с осью горловины седлового отвода, и удар приходился посередине крышки. После нанесения первого удара образец разворачивают на 180° , чтобы следующий удар нанести с противоположной стороны.

После нанесения двух ударов образец осматривают на наличие видимых разрушений. При отсутствии видимых разрушений производят испытание на герметичность образца.

Определение герметичности проводят при температуре (23 ± 5) °С. В качестве рабочей среды используют воздух или азот.

Образцы подвергают испытательному давлению постепенно, в течение 15-60 с от начала нагружения и выдерживают при этом давлении не менее 24-х часов или до момента потери герметичности.

Для испытания образцы погружают в водяную ванну.

Нарушение герметичности определяют по показанию манометров или по пузырькам воздуха или азота.

Контроль качества сварных соединений выполненных с применением нагретого инструмента.

По окончании сварки изделие подвергается визуально-измерительному контролю (ВИК).

Внешний вид сварного шва должен удовлетворять следующим требованиям:

- валик шва должен быть равномерно распределен по окружности трубы;
- валик шва должен быть одного цвета с трубой и не иметь трещин;
- валики наружного грата должны быть симметричны;
- смещение кромок трубы допускается не более чем на 10 % толщины стенки.

Размеры (высота и ширина) внешнего грата определяются с помощью штангенциркуля по линии продольной.

Для измерения смещения кромок может использоваться шаблон. Схема измерения изображена на рисунке 9.27.

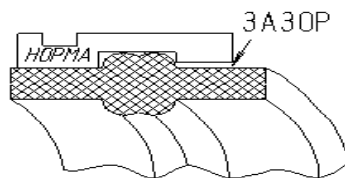


Рисунок 9.27 – Измерение смещения кромок при помощи шаблона

Для испытания на прочность сварного соединения проводится пневмо-гидроиспытание. В трубопровод подаётся повышенное давление если учесть, что рабочее давление данного трубопровода составляет 1,0 МПа, то испытательное давление будет равным 1,35 МПа. Если в течение определённого времени на месте сварного шва не появятся какие-либо дефекты, то изделие считается пригодным к эксплуатации.

Качество стыковых сварных соединений ПЭ трубопроводов оценивают путём механических испытаний на растяжение образцов в виде лопаток по ГОСТ 11262-2017, вырезанных из контрольных стыков. В отступление от требований ГОСТ 11262-2017, где максимальное сечение образца должно составлять 10x10 мм, при испытаниях основного материала трубы по ГОСТ 18599-2001 предусмотрено образцы выполнять с толщиной, равной толщине стенки испытываемой трубы.

Соответственно, и при испытаниях сварных образцов толщина выбирается равной толщине стенки трубы, при этом грат со сварного шва не снимается. Сварные стыки ПЭ трубопроводов считаются выдержавшими испытание, если не менее 80 % образцов имеют пластичный характер разрушения по основному материалу образца с относительным удлинением не менее 350 % для полиэтилена ПЭ80, и 250 % для полиэтилена ПЭ63. Остальные образцы при разрушении должны иметь относительное удлинение не менее 50 % для каждого образца. Хрупкое разрушение по сварному шву недопустимо.

Установленные требования достаточно эффективны при оценке сварных соединений полиэтиленовых труб относительно небольших диаметров, с толщиной стенки до 20 мм. При сварке же труб диаметром 800-1200 мм, с толщиной стенки 40-60 мм, данные условия механических испытаний становятся не приемлемыми. Связано это с тем, что существенное увеличение толщины образца требует пропорционального увеличения и остальных размеров образца. Это существенно изменяет условия испытаний, а также требует специального испытательного оборудования, так как пропорционально площади сечения образца возрастает величина испытательного усилия, в то время как стандартные машины для испытания на растяжение полимерных материалов (машины с увеличенным ходом подвижного зажима) рассчитаны на усилие не более 500 кГс (5 кН).

Возможные дефекты сварки нагретым инструментом, причины и способы их предупреждения

Основные причины возникновения непроваров – низкое давление и недостаточная длительность осадки.

В сварном соединении, любой дефект удаляется полностью со сварным швом с помощью механизированной дисковой пилы (рис. 9.28).

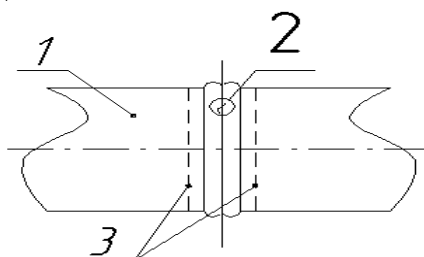


Рисунок 9.28 – Удаление дефекта: 1 – трубная конструкция; 2 – дефект в сварном шве; 3 – линия отреза (с

термическим влиянием от шва 20 мм)

После удаления дефекта сварки трубопровода, вновь выполнить подготовку труб и сварку.
Дефекты приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2

Возможные дефекты сварки, причины и способы их предупреждения

<i>Дефект</i>	<i>Причина дефекта</i>	<i>Способ</i>
1	2	3
Высота валика менее 5мм	Температура оплавления ниже нормы. Усилие прижатия торцов труб к нагревательному инструменту или друг к другу недостаточно. Время оплавления ниже нормы.	Повысить температуру нагревательного инструмента. Увеличить усилие прижатия при оплавлении или сварке. Увеличить время выдержки торцов труб на инструменте.
Неравномерная толщина валика	Неровные торцовые поверхности. Плохая центровка труб в приспособлении. Перекос труб при сварке.	Повысить точность сборки торцов труб. Добиться перпендикулярности торца от трубы. Отрегулировать точность центровки труб в приспособлении, применяемом для сборки и сварки. Устранить люфт в зажимных хомутах приспособления.
Высота валика более 7,5мм	Чрезмерно большое усилие прижатия торцов труб к нагревательному инструменту или друг к другу. Температура оплавления выше нормы, Время оплавления выше нормы.	Уменьшение усилия прижатия при оплавлении или сварке. Уменьшить температуру нагревательного инструмента. Уменьшить температуру, время оплавления.
Трещины и раковины по линии сварки	Недостаточное усилие прижатия оплавленных торцов труб друг к другу. Плохая подготовка торцевых поверхностей. Температура оплавления ниже нормы. Искусственное охлаждение сварных швов.	Увеличить усилие прижатия сварки. Улучшить степень чистоты свариваемых поверхностей. Повысить температуру нагревательного инструмента. Сварной шов охладить только естественным путем.
Непровары, пузыри воздуха и др.	Чрезмерное охлаждение оплавления поверхностей. Температура нагрева выше нормы. Загрязненная поверхность нагревательного инструмента или торцов труб.	Уменьшить время между снятием деталей с инструмента и их сопряжением. Защитить место сварки от сквозняков. Сваривать в более теплом помещении. Уменьшить температуру нагревательного инструмента. Более тщательно зачищать рабочие поверхности инструмента и торцы труб.