

*Федеральное государственное бюджетное образовательное
высшего профессионального образования*

**«АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.И. Ползунова» (АлтГТУ)**

Естественнонаучный факультет
Кафедра «Физики и технологии композиционных материалов»

Новиковский Е.А.

Учебное пособие

Ручная электродуговая и газовая сварка металлов



Барнаул 2013

Новиковский, Е. А. Учебное пособие «ручная электродуговая и газовая сварка металлов» [Текст] / Е. А. Новиковский. – Барнаул: Типография АлтГТУ, 2013. – 106 с.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры физики и
технологии композиционных материалов.
Протокол № 2 от 10.02.13

Данное методическое пособие посвящено описанию процесса, оборудования и материалов для ручной электродуговой и газовой сварки металлов.

Пособие начинается с описания сущности и классификации сварки. Даны основные условия свариваемости разнородных металлов. Далее идет описание краткое описание основных видов сварки: дуговая, контактная, газовая и пр. Потом следует первая основная глава, посвященная описанию технологии ручной электродуговой сварки. Вначале рассматривается электрическая дуга: виды, условия получения, особенности. Далее следует описание особенностей металлургических процессов при ручной электродуговой сварке. Потом следует описание материалов и оборудования для данного вида сварки: электродов, трансформатора, оборудование поста сварщика. После этого проводится описание сварных швов и соединений: классификация, техника выполнения и пр. Заканчивается глава описанию мероприятий по охране труда при электросварке. Вторая основная глава посвящена описанию газовой сварки. Рассматривается по образцу главы по электродуговой сварке без дублирующих разделов.

В конце данного учебного пособия приведены метода контроля сварочных соединений и описание понятия и методики определения свариваемости сталей. Учебное пособие заканчивается приведением контрольных вопросов и списком рекомендуемой литературы.

Содержание

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ	6
1.1 Сущность и классификация процесса сварки	6
1.2 Основные условия сваривания разнородных металлов	9
1.3 Краткая характеристика основных видов сварки	10
1.3.1 Дуговая сварка	10
1.3.2 Контактная сварка	12
1.3.3 Газовая и газопрессовая сварка	13
1.3.4 Электрошлаковая сварка	13
1.3.5 Электронно-лучевая сварка	14
1.3.6 Плазменная сварка.....	15
1.3.7 Лазерная сварка	16
1.3.8 Диффузионная сварка	16
1.3.9 Кузнечная сварка	17
1.3.10 Термитная и термитно-прессовая сварка	17
1.3.11 Индукционно-прессовая сварка	17
1.3.12 Сварка трением	18
1.3.13 Ультразвуковая сварка	18
1.3.14 Сварка взрывом.....	19
1.3.15 Холодная сварка и сварка прокаткой.....	20
2 ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ	21
2.1 Электрическая сварочная дуга	21
2.1.1 Определение и виды электрической дуги	21
2.1.2 Строение свободной электрической дуги	22
2.1.3 Условия зажигания и горения дуги.....	23
2.1.4 Особенности сварочной дуги	24
2.2 Основы металлургических процессов при дуговой сварке	26
2.2.1 Особенности металлургии сварки.....	26
2.2.2 Окисление и раскисление металла при сварке.....	26
2.2.3 Растворение газов и борьба с ними	28
2.2.4 Рафинирование металла шва	29
2.2.5 Образование трещин	30

2.2.6 Строение сварного соединения	31
2.2.7 Микроструктура металла в зоне термического влияния.....	32
2.3 Материалы и оборудование	34
2.3.1 Электроды	34
2.3.1.1 Проволока стальная сварочная.....	34
2.3.1.2 Покрытые электроды.....	35
2.3.1.3 Типы покрытых электродов для сварки конструкционных сталей.....	38
2.3.1.4 Неплавящиеся электроды.....	39
2.3.2 Устройство сварочного трансформатора.....	40
2.3.3 Принадлежности и инструмент сварщика.....	41
2.3.4 Оборудование сварочного поста для дуговой сварки	45
2.4 Сварные соединения и швы.....	47
2.4.1 Основные типы сварных соединений	47
2.4.2 Классификация сварных швов.....	48
2.5 Техника выполнения сварных соединений	51
2.5.1 Подготовка металла под сварку	51
2.5.2 Сборка деталей под сварку	51
2.5.3 Техника выполнения швов.....	53
2.5.4 Защита металла шва и электрода от воздуха при дуговой сварке.....	58
2.5.5 Выбор режима ручной дуговой сварки.....	60
2.6 Охрана труда при ручной дуговой сварке	62
3 ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ	65
3.1 Материалы и оборудование для газовой сварки.....	65
3.1.1 Горючие газы	65
3.1.2 Ацетиленовые генераторы. Предохранительные затворы	68
3.1.3 Баллоны для хранения горючих газов	73
3.1.4 Редукторы для сжатых газов. Рукава (шланги).....	74
3.1.5 Сварочные горелки.....	77
3.2 Сварочное пламя.....	80
3.3 Металлургические процессы при газовой сварке	82
3.4 Основы технологии газовой сварки низкоуглеродистой стали.....	83
3.5 Основные требования безопасности труда при газовой сварке и кислородной резке	88

4 КОНТРОЛЬ СВАРОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	90
4.1 Понятие о дефекте.	90
4.2 Классификация дефектов и видов контроля качества продукции	92
4.3 Технология контроля внешним осмотром и измерениями	93
5 СВАРИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ	97
5.1 Понятие свариваемости.....	97
5.2 Классификация сталей по свариваемости	98
5.3 Влияние легирующих примесей на свариваемость сталей	99
5.4 Оценка свариваемости сталей	101
6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	104
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	106

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ

1.1 Сущность и классификация процесса сварки

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании (ГОСТ 2601-84).

Определение сварки относится к металлам, неметаллическим материалам (пластмассы, стекло и т. д.) и к их сочетаниям.

Для образования неразъемного соединения одного соприкосновения частей с зачищенными поверхностями недостаточно. Межатомные связи могут установиться между частями (детальями) только тогда, когда соединяемые атомы получают энергию извне. В результате затраченной энергии атомы получают соответствующее смещение (движение), позволяющее им занять в общей атомной решетке устойчивое положение, т. е. достигнуть равновесия между силами притяжения и отталкивания. Энергию извне называют энергией активации. Ее при сварке вводят путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация).

Соприкосновение свариваемых частей и применение при сварке энергии активации являются необходимыми условиями для образования неразъемных сварных соединений из однородных частей. Эти условия совмещаются при выполнении процесса сварки.

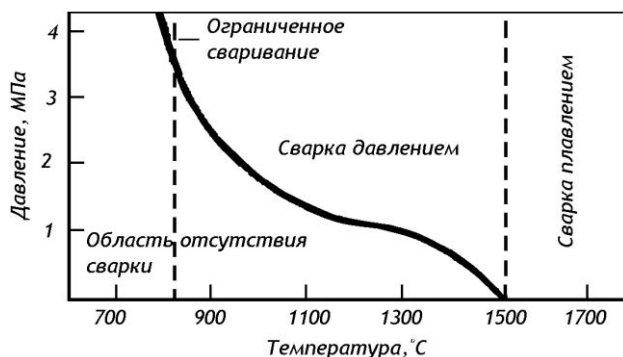


Рисунок 1.1 – Схемы возможных областей сварки (давлением и плавлением) в зависимости от температуры и давления, реализуемых в процессе сварки.

По признаку применяемого вида активации в момент образования межатомных связей в неразъемном соединении различают два вида сварки: сварку плавлением и сварку давлением.

Сущность сварки плавлением (см. рисунок 1.2) состоит в том, что образующийся от нагрева посторонним источником жидкий металл одной оплавленной кромки самопроизвольно соединяется (в какой-то мере перемешивается) с жидким металлом второй оплавленной кромки, создается общий объем жидкого металла, который называется сварочной ванной. После охлаждения металла сварочной ванны получается металл шва. Металл шва может образоваться только за счет переплавления металла по кромкам или дополнительного присадочного металла, введенного в сварочную ванну.

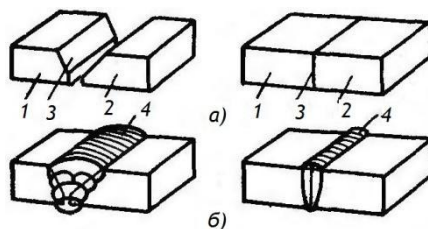


Рисунок 1.2 – Соединение деталей сваркой плавлением, где а – перед сваркой, б – после сварки; 1, 3 – свариваемые детали, 2 – оплавляемые кромки, 4 – сварной шов

Источниками местного нагрева при сварке плавлением могут быть электрическая дуга, газовое пламя, химическая реакция с выделением теплоты, расплавленный шлак, энергия электронного излучения, плазма, энергия лазерного излучения.

Образование межатомных связей в кромках соединяемых деталей при сварке плавлением достигается благодаря тому, что металл по кромкам (каждый в отдельности) первоначально расплавляется, а потом вновь оплавленные кромки смачиваются и заполняются расплавленным металлом из сварочной ванны.

Зона вблизи границы оплавленной кромки свариваемой детали и шва называется зоной сплавления. В ней содержатся прежде всего образовавшиеся

межатомные связи. В поперечном сечении сварного соединения она измеряется микрометрами, но роль ее в прочности металла очень велика.

Сущность сварки давлением (рисунок 1.3) состоит в пластическом деформировании металла по кромкам свариваемых частей. Пластическое деформирование по кромкам свариваемых частей достигается статической или ударной нагрузкой. Для ускорения получения пластически деформированного состояния металла по кромкам свариваемых частей обычно сварку давлением выполняют с местным нагревом. Благодаря пластической деформации металл по кромкам подвергается трению между собой, что ускоряет процесс установления межатомных связей между соединяемыми частями. Зона, где образовались межатомные связи соединяемых частей при сварке давлением, называется зоной соединения.

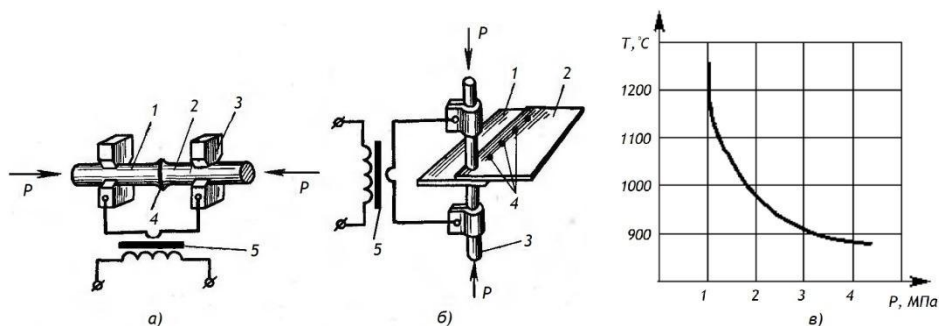


Рисунок 1.3 – Схема соединения деталей сваркой давлением, где а – стыковая контактная сварка; б – точечная контактная сварка; в – оптимальная зависимость между температурой нагрева и давлением для железа; 1 и 2 – свариваемые детали; 3 – медные электроды, 4 – место сварки; 5 – сварочный трансформатор, Р – сжимающее усилие.

Источником теплоты при сварке давлением с нагревом служат: печь, электрический ток, химическая реакция, индукционный ток, вращающаяся электрическая дуга и др.

Характер процесса сварки давлением с нагревом может быть и другим. Например, при стыковой контактной сварке оплавлением свариваемые кромки первоначально оплавляются, а затем пластически деформируются. При этом часть пластически деформированного металла совместно с некоторыми загрязне-

ниями выдавливаются наружу, образуя грат. Распределение деформаций по сечению сварного соединения в зоне сварки является неравномерным, в результате чего происходит скольжение у частиц металла в зоне соединения. Все это приводит к получению повышенных механических свойств сварных соединений.

1.2 Основные условия сваривания разнородных металлов

Прочность сварных соединений зависит от многих факторов, включая прочность металла в зонах сплавления или соединения. Поэтому при разработке технологии сварки добиваются получения определенной прочности металла в зонах сплавления или соединения.

Для однородных металлов основными условиями сваривания являются соприкосновение свариваемых поверхностей с использованием энергии активации. При сварке разнородных металлов кроме указанных условий нужно выполнить еще условие сходимости металлов, например по атомному размеру, температуре плавления и другим свойствам.

Выполнение последнего условия особенно важно при сварке плавлением, так как сваркой давлением можно соединять большее число пар разнородных металлов, чем сваркой плавлением. Это объясняется тем, что при сварке давлением общая атомная решетка у соединяемых частей образуется не только методом «замещения», присущим сварке плавлением, но также действует преимущественно и метод «внедрения».

В зонах сплавления и соединения при сварке двух чистых металлов, которые могут смешиваться в жидком состоянии (например, железо с медью, железо с никелем), образуются твердые растворы. Могут образоваться и химические соединения при сварке, например, железа с алюминием, никеля с алюминием и др. Более пластичными материалами являются твердые сплавы, чем химические соединения, вызывающие хрупкость в межатомных зонах. При соединении сваркой несмешивающихся металлов (например, железа со свинцом, меди со свинцом и др.) зоны сплавления или соединения отсутствуют, т. е. атомного сцепления между ними не будет, произойдет «слипание» соединяемых металлов.

1.3 Краткая характеристика основных видов сварки

Согласно ГОСТ 19521-74, предусматривается три класса сварки: термический, термомеханический и механический. Термический класс объединяет виды сварки, осуществляемые местным плавлением металла. К термическому классу относят дуговую, газовую, термитную, электрошлаковую, электронно-лучевую, плазменно-лучевую, лазерную и другие виды сварки. Термомеханический класс объединяет виды сварки, осуществляемые давлением (механической энергией) с использованием тепловой энергии общего или местного характера. К этому классу относят печную (кузнечную, прокаткой, выдавливанием – у этих видов сварки общий нагрев свариваемых частей), контактную, термитно-прессовую, индукционно-прессовую, газопрессовую, диффузионную и дугопрессовую (эти виды сварки выполняют с местным нагревом свариваемых частей). Каждый вид сварки термомеханического класса выполняется по схеме сварки давлением без оплавления или с оплавлением металла кромок деталей.

Механический класс сварки объединяет виды сварки, выполняемые давлением (механической энергией). К этому классу относят холодную, трением, ультразвуковую, взрывом и магнитно-импульсную сварки.

1.3.1 Дуговая сварка

Источником нагрева при сварке является электрическая дуга. Сварочной или электрической дугой или дуговым разрядом называется явление с образованием прежде всего концентрированной лучистой энергии, теплоты, звука и других эффектов в промежутке между электродом и изделием, заполненным воздухом или газами и парами металла, при прохождении электрического тока по ним.

Для получения дуги нужна электрическая цепь со специальным источником питания. Для питания дуги электрическим током пользуются при переменном токе сварочным трансформатором, при постоянном токе – сварочным преобразователем, агрегатом с двигателем внутреннего сгорания или сварочным выпрямителем. От источника питания ток подводится сварочными проводами 4 через электрододержатель 3 к электроду 2 и свариваемому изделию 6 (см. рисунок 1.4, а), между которыми горит дуга 1. Включив источник питания, сварщик

зажигает дугу и поддерживает ее горение. Для зажигания дуги на зажимах источника питания должно быть напряжение в несколько десятков вольт. Ток, проходящий по сварочной цепи, может достигать нескольких тысяч ампер. Сопротивление электрической дуги больше, чем сопротивление сварочного электрода и проводов, поэтому большая часть тепловой энергии электрического тока выделяется именно в плазму электрической дуги. Этот постоянный приток тепловой энергии поддерживает электрическую дугу от распада.

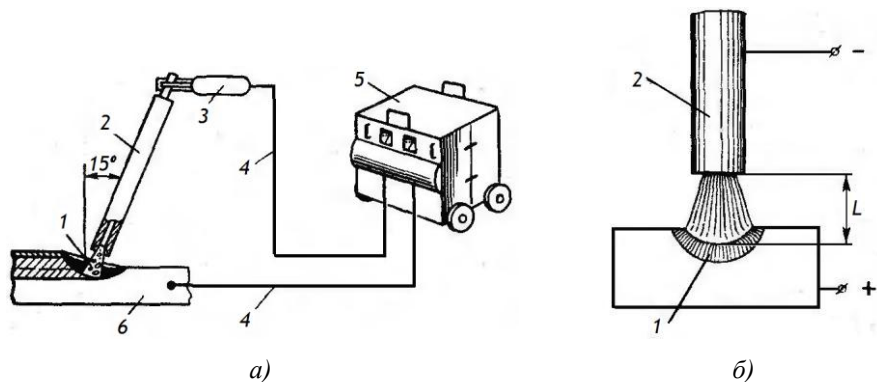


Рисунок 1.4 – Сварочная электрическая цепь с дугой (а) и сварочная дуга (б), где 1 – сварочная ванна; 2 – электрод; 3 – электродержатель; 4 – провода; 5 – источник питания; 6 – свариваемое изделие; L – длина дуги

При сварке плавящимся электродом шов образуется вследствие расплавления электрода и кромок основного металла. При сварке неплавящимся электродом шов заполняется металлом свариваемых частей.

К плавящимся электродам относят стальные, медные и алюминиевые. К неплавящимся – угольные, графитовые (графитизированные – искусственный графит) и вольфрамовые (вольфрамовые сплавы).

При горении дуги плавящийся электрод по мере его плавления необходимо непрерывно подавать в дугу (в зону сварки) и поддерживать по возможности постоянную длину дуги. Длиной дуги называют расстояние между концом электрода и поверхностью кратера (углубления) в сварочной ванне (см. рисунок 1.4, б). При горении дуги с неплавящимся электродом длина дуги с течением времени возрастает и в процессе сварки необходима корректировка.

1.3.2 Контактная сварка

Сварку осуществляют с применением давления и местного нагрева (см. рисунок 1.5). Различают точечную, стыковую, шовную, рельефную и шовно-стыковую сварку.

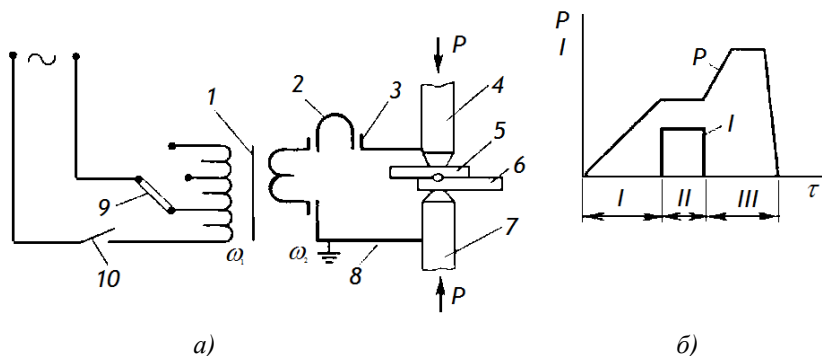


Рисунок 1.5 – Точечная контактная сварка, где а – электрическая схема машины и подвод тока к свариваемым деталям; б – диаграммы зависимостей давления P и тока I от времени сварки τ ; 1 – сердечник понижающего трансформатора; 2 – гибкая перемычка; 3, 8 – токоподводы; 4, 7 – электроды; 5, 6 – свариваемые детали, 9 – переключатель тока; 10 – прерыватель тока (контактор); ω_1 , ω_2 – витки обмоток трансформатора; I – сжатие свариваемых деталей; II – время прохождения сварочного тока; III – время проковки

Точечная контактная сварка изобретена в России Н. Н. Бенардосом в 1885 г. Для получения различной величины тока в трансформатор помещают регулировочное устройство. Витки первичной обмотки разбивают на секции, от которых делают отпайки к переключателю, что позволяет регулировать вторичное напряжение и ток для сварки.

Процесс точечной сварки имеет три этапа (см. рисунок 3.3, б): предварительное сжатие деталей между электродами (I), нагрев сжатых деталей до температуры сварки (II) и охлаждение места сварки при увеличенном усилии сжатия (III – проковка). Длительность каждого этапа определяется технологическими условиями сварки. Например, при слишком быстром снятии усилия возможно ослабление горячей сварочной точки и низкое качество сварного соединения.

1.3.3 Газовая и газопрессовая сварка

Газовая сварка применяется прежде всего для сварки чугунов и латуни, редко для соединений стальных листов толщиной 1–2 мм и в ремонтном деле. Из горючих газов для сварки применяют в основном ацетилен. Ацетиленокислородная сварка выполняется плавлением (вручную), давлением (на машинах) – газопрессовой сваркой. Газопрессовая сварка в настоящее время утратила свое значение из-за относительно низкой получаемой прочности сварных соединений.

1.3.4 Электрошлаковая сварка

Сущность процесса электрошлаковой сварки показана на рисунке 1.5. Первоначально в пространстве, образованном кромками свариваемых деталей и формирующими приспособлениями, соответствующими способами (электрической дугой и др.) создается ванна расплавленного шлака. В ванну погружают металлический электрод. Ток, проходящий между электродом и основным металлом через шлак, в силу электрического сопротивления поддерживает шлак в расплавленном состоянии, электрод и кромки деталей расплавляются, образуя металлическую ванну, а затем закристаллизовавшийся металл шва.

В процессе сварки флюс расходуется на образование шлаковой тонкой корки между поверхностями ползуна и шва, испарение, поэтому флюс периодически подается в плавильное пространство.

Бездуговой процесс при электрошлаковой сварке достигается значительным расстоянием (более 10 мм) от торца электрода до металлической ванны и применением шлака с соответствующими свойствами.

Обычно электрошлаковую сварку применяют для соединения стальных листов толщиной от 50 мм до нескольких метров: используют для соединения

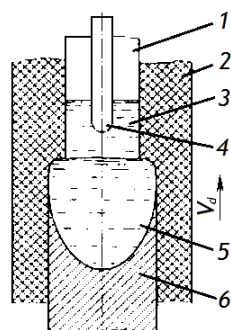


Рисунок 1.6 – Электрошлаковая сварка, где 1 – изделие, 2 – формирующее приспособление, 3 – расплавленный шлак, 4 – металлический электрод, 5 – сварочная ванна, 6 – сварной шов

металла различного химического состава. Она в основном применяется при сооружении кожухов домен, толстостенных турбин, в производстве сварно-литых и сварнокованных конструкций.

Электрошлаковый процесс применяют также для переплава стали, отливок деталей и др. Для электрошлакового процесса промышленность изготавливает специальное оборудование с автоматическим управлением.

1.3.5 Электронно-лучевая сварка

Электронный луч получают в вакуумном приборе – электронной пушке (см. рисунок 1.7). В вакууме с раскаленного катода выделяются электроны, которые направляются к аноду – свариваемому изделию. Для получения электронного луча электроны фокусируются магнитным полем, создаваемым специальным устройством.

Электронный луч бомбардирует свариваемый металл непрерывно или импульсами и нагревает его до высоких температур. Температура нагрева свариваемого металла регулируется плотностью электрической энергии в луче. Для перемещения луча по шву служит магнитная отклоняющая система.

Длина луча изменяется фокусирующим устройством. Лучом можно манипу-

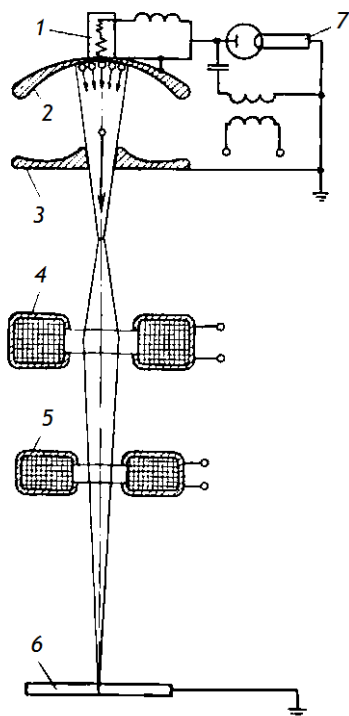


Рисунок 1.7 – Сварка электронным лучом в вакууме, где 1 – катодная спираль; 2 – фокусирующая головка катода; 3 – первый анод с отверстием; 4 – фокусирующая магнитная катушка для регулирования диаметра пятна нагрева на изделии; 5 – магнитная система отклонения пучка; 6 – свариваемое изделие (анод); 7 – высоковольтный источник постоянного тока для питания катода

лизовать на расстояниях до 900 мм от изделия, что очень важно для сварки в труднодоступных местах.

Удельная тепловая мощность электронного луча в сотни и тысячи раз больше, чем удельная тепловая мощность обычной сварочной дуги. Если сварочная дуга при напряжении 20 В, токе 200 А и диаметре 10 мм имеет плотность энергии $\sim 4 \cdot 10^7$ Вт/м², то электронный луч при напряжении 100 кВ, токе 8 мА и диаметре 0,05 мм имеет плотность $4 \cdot 10^{11}$ Вт/м², т. е. в 10000 раз большую. Это обеспечивает более высокие скорости сварки, узкие и глубокие швы, малый нагрев металла околошовной зоны, практически без перегрева металла и, как следствие этого, низкие сварочные деформации и повышенную прочность сварного соединения.

1.3.6 Плазменная сварка

Источником местного нагрева при этом виде сварки служит плазма. Плазмой называют высокотемпературный ионизирующийся газ. Минимальной температурой, при которой начинается самопроизвольная (автоматическая) ионизация, является температура свыше 5500 °С. В сварочной практике применяют плазменные струи с температурами до 50 000 °С. Питание осуществляется от источника постоянного тока. Минус подводится к электроду, плюс – к соплу. Дуга горит между электродом и соплом и выдувается газом с образованием струи плазмы. В горелках для сварки плазменной дугой одним из электродов является изделие. Сварочную плазму редко применяют для сварки, для резки – широко.

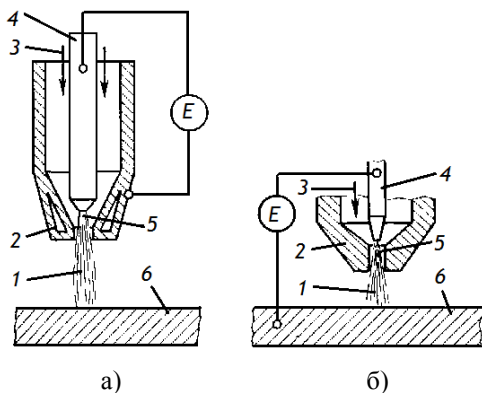


Рисунок 1.8 – Схема получения плазменной струи (а) и плазменной дуги (б), где 1 – плазменная струя, 2 – плазмообразующее сопло, 3 – направление подачи газа; 4 – электрод, 5 – столб дуги, 6 – изделие, Е – источник тока

1.3.7 Лазерная сварка

Источником теплоты служит лазерный луч. Применяют лазерные установки всех видов. Лазерную сварку производят на воздухе или в среде защитных газов: аргона, CO_2 . Вакуум, как при электронно-лучевой сварке, не нужен, поэтому лазерным лучом можно сваривать крупногабаритные конструкции. Лазерный луч легко управляется и регулируется, с помощью зеркальных оптических систем легко транспортируется и направляется в труднодоступные для других способов места. В отличие от электронного луча и электрической дуги на него не влияют магнитные

поля, что обеспечивает стабильное формирование шва. Из-за высокой концентрации энергии (в пятне диаметром 0,1 мм и менее) в процессе лазерной сварки объем сварочной ванны небольшой, малая ширина зоны термического влияния, высокие скорости нагрева и охлаждения. Это обеспечивает высокую прочность сварных соединений, небольшие деформации сварных конструкций.

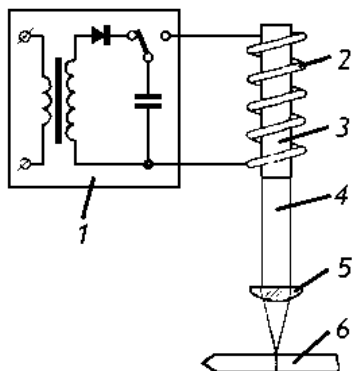


Рисунок 1.9 – Лазерная сварка, где 1 – источник питания; 2 – лампа накачки; 3 – резонатор; 4 – луч лазера; 5 – оптическая система; 6 – свариваемое изделие

1.3.8 Диффузионная сварка

Сущность процесса диффузионной сварки состоит в том, что детали с полированными поверхностями плотно прижимаются друг к другу и нагреваются в вакууме. Это приводит к взаимной диффузии атомов по контактирующим поверхностям и получению прочного соединения. Диффузионную сварку применяют для получения сварных соединений с высокоточными размерами, для соединения разнородных материалов, не поддающихся сварке плавлением, для изделий с высокой прочностью сварных соединений. Диффузионной сваркой соединяют до 560 пар разнородных материалов, не поддающихся другим видам сварки.

1.3.9 Кузнечная сварка

Кузнечная сварка начинается с подготовки металла. Концы заготовок нагревают в горне (печи) дважды: сначала низкоуглеродистую сталь доводят до ярко-красного цвета (900–1000 °С), а затем с нанесенным на поверхность флюсом (бурой, поваренной солью и кварцевым песком) до температуры, при которой металл имеет ослепительно белый цвет. Затем заготовки очищают от окалин и шлака, накладывают друг на друга и проковывают сначала легкими, но частыми, а затем сильными ударами кувалды (молота). Место сварки отделывают гладилками, обжимками и другим инструментом. Кузнечной сваркой обычно пользуются в сельских ремонтных мастерских.

1.3.10 Термитная и термитно-прессовая сварка

Источником энергии при термитной сварке служит теплота, выделяемая при горении термита (порошка из железной окалины и алюминия). Первоначально термитную сварку применяли для соединения трамвайных рельсов, позднее для железнодорожных. В настоящее время термитная сварка утратила свое значение из-за трудности автоматизации процесса, низкой прочности сварных соединений и относительной дороговизны.

1.3.11 Индукционно-прессовая сварка

Индукционно-прессовая сварка осуществляется индуцированным переменным током и опрессовыванием нагретого металла. Индуктор представляет собой инструмент в виде металлического кольца, надеваемого на стык труб, подлежащих сварке. Под воздействием высокочастотного тока, проходящего по индуктору, образуется высокочастотное магнитное поле. Это поле создает в металле индуцированный ток, плотность которого регулируется частотой тока в индукторе. Применение тока радиочастотного диапазона (300–500 ГГц) позволяет получать более высокую концентрацию энергии, чем при контактной и дуговой сварке. Токами повышенных частот сваривают более тонкий металл. С помощью индуктора выполняют также термическую обработку сварных соединений.

1.3.12 Сварка трением

Сварка трением осуществляется теплотой, возникающей от трения при перемещении соединяемых деталей относительно друг друга, которые сжаты осевой силой. Сварку выполняют на специальных машинах. Одна из свариваемых деталей подвижна, вторая, прижатая к первой, вращается. Когда нагрев в стыке достигает температуры сварки (для стали 900–1200 °С), трение резко прекращают, а осевое усилие увеличивают. Сварка трением весьма экономична в отношении использования энергии. Она широко применяется в сельскохозяйственном машиностроении.

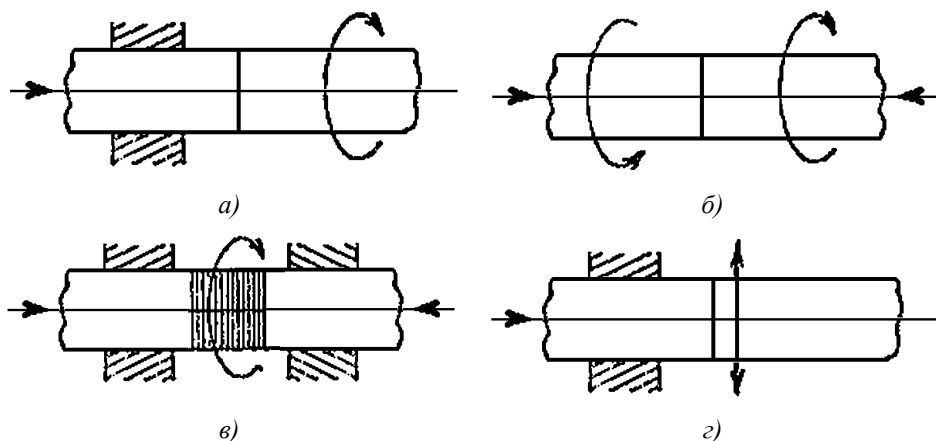


Рисунок 1.10 – Сварка трением, где а – вращение одной детали; б – вращение обеих деталей; в – вращение вставки при двух неподвижных деталях; г – возвратно-поступающее движение одной детали.

1.3.13 Ультразвуковая сварка

Ультразвуковая сварка по сущности процесса аналогична сварке трением. Она выполняется совместным действием механических колебаний высокой частоты (свыше 20 кГц) и небольших сжимающих усилий. Механические колебания создаются ультразвуком. Колебания и сжимающие усилия передаются свариваемым листам через специальные устройства. Эти колебания разрушают поверхностные загрязнения, нагревают свариваемые поверхности и с помощью

давления обеспечивают атомную связь между свариваемыми деталями. Получается точечная сварка. Наложением одной точки на другую получают шов.

Ультразвуковую сварку можно применять для соединения тонких материалов (алюминия толщиной менее 1,5 мм, сплавов железа – менее 1 мм). Ультразвуком сваривают неметаллические материалы: полиэтиленовые пленки, пластмассы и др.

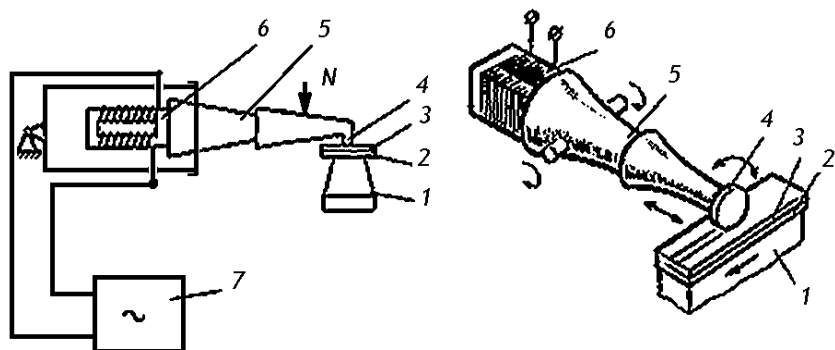


Рисунок 1.11 – Ультразвуковая сварка, где 1 – опора; 2, 3 – свариваемые детали; 4 – сварочный инструмент; 5 – волновод; 6 – электроакустический преобразователь; 7 – ультразвуковой генератор; N – заданное усилие.

Важнейшие преимущества ультразвуковой сварки металлов это:

- возможность образования сварного соединения без предварительной подготовки свариваемых поверхностей – удаления окислов, механических загрязнений, покрытий;
- возможность сварки тонких разнородных металлоизделий без их расплавления.

1.3.14 Сварка взрывом

Сваркой взрывом выполняют нахлесточные соединения. На внешнюю поверхность тонкого листа, находящегося с определенным зазором от нижнего толстого листа, наносят определенное количество взрывчатого вещества, при зажигании которого образуется детонационная волна, приводящая к ударному прижиму тонкого листа к толстому. Между листами от начала соединения полу-

чается направленная сила (кумулятивный эффект), которая очищает поверхности с внутренних сторон от загрязнений, выбрасывая их наружу. При установленном процессе тонкая пластина на некоторой длине неоднократно перегибается, происходит высокоскоростное соударение тонкого металла с неподвижной толстой пластиной. Все это приводит к тесному сближению свариваемых частей и образованию у контактирующих металлов пластической деформации и атомного сцепления.

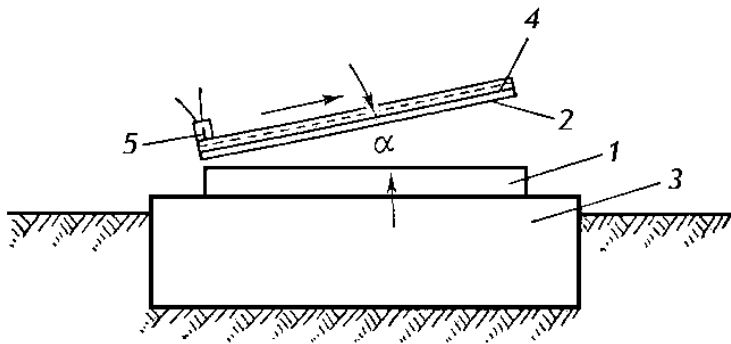


Рисунок 1.12 – Сварка взрывом, где 1 – неподвижная деталь (мишень); 2 – подвижная (метаемая) деталь; 3 – опорная плита; 4 – заряд; 5 – детонатор

Сварку взрывом применяют для соединения разнородных металлов и сплавов (получение биметаллических листов, нанесение порошковых покрытий на металлические поверхности и др.).

1.3.15 Холодная сварка и сварка прокаткой

Холодную сварку осуществляют без нагрева металла внешним источником теплоты, но с нагревом, возникающим от пластической деформации при сварке. Сварке подвергают только пластичные материалы (медь, алюминий, свинец и др.). Специальными клещами соединяют алюминиевые шины, провода.

Сварку прокаткой применяют на металлургических заводах по производству слоистого прокатного металла (например, тонкую нержавеющую сталь сваривают с толстой низкоуглеродистой сталью). Сварка является высокопроизводительной и экономичной.

2 ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

2.1 Электрическая сварочная дуга

2.1.1 Определение и виды электрической дуги

Сварочной дугой называется длительный электрический разряд между двумя электродами в ионизированной смеси газов и паров, характеризующийся необходимой длительностью времени, малым газовым промежутком (1–10 мм), низким электрическим напряжением (9–45 В) и широким диапазоном по току (5–5000 А).

В зависимости от схемы подвода сварочного тока дуги делятся на следующие виды: дуга прямого действия (рисунок 2.1, а), когда дуга горит между электродом и свариваемым металлом; дуга косвенного действия (рисунок 2.1, б), когда дуга горит между двумя электродами, а свариваемый металл не включен в электрическую цепь; дуга между двумя плавящимися электродами и свариваемым изделием при питании переменным Трехфазным током (рисунок 2.1, в); сжатая дуга (рисунок 2.1, г) и др.

По роду тока – дуга переменного тока однофазная и трехфазная, дуга постоянного и пульсирующего тока); по полярности тока – дуга на прямой и обратной полярности; по виду статической вольт-амперной характеристики дуга с падающей, жесткой и возрастающей характеристикой

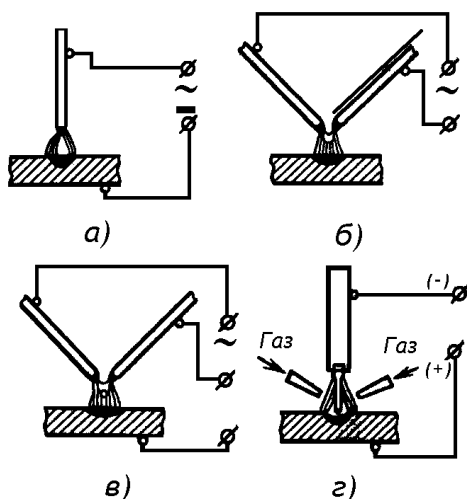


Рисунок 2.1 – Сварочные дуги, где а – прямого действия, б – косвенного действия, в – прямого действия двумя электродами при трехфазном токе; г – сжатая дуга

2.1.2 Строение свободной электрической дуги

Дугу, горящую между электродом и изделием на воздухе, принято называть свободной дугой в отличие от сжатой, поперечное сечение которой принудительно уменьшено.

Свободная дуга (см. рисунок 2.2) состоит из трех зон: катодной с катодным пятном, необходимым для эмиссии (выхода) электронов, анодной с анодным пятном, бомбардирующимся электронным потоком, и столба дуги, который занимает промежуточное положение между катодной и анодной зонами.

Катодная зона расположена между столбом дуги и поверхностью катода (электрода, подключенного к отрицательному полюсу источника питания). Электроны, выходящие с поверхности катодного пятна, называются первичными. Выход электронов объясняют термическим эффектом (термоэлектронная эмиссия) и наличием у катода поля высокой электрической напряженности (электростатическая эмиссия). Термоэлектронная эмиссия заключается в нагревании поверхности электрода до высокой температуры, при которой связь электрона с ядром атома ослабевает и под влиянием электростатического поля электрон отрывается с поверхности катода и устремляется к аноду. Электростатическая эмиссия состоит в том, что под влиянием электрического поля высокой напряженности, которое устанавливается вблизи катода, с катодного пятна вырываются первичные электроны и летят к аноду. Процесс электронной бомбардировки сообщает катоду значительные количества энергии и интенсивно разогревает его. Процесс образования нейтральных атомов называется рекомбинацией. За счет рекомбинации уравниваются процессы исчезновения и образования заряженных частиц в дуге. Анодная зона (область) дуги состоит из анодного пятна и приэлектродной части. Ток в анодной области определяется потоком электронов, образовавшихся при ионизации в столбе дуги.

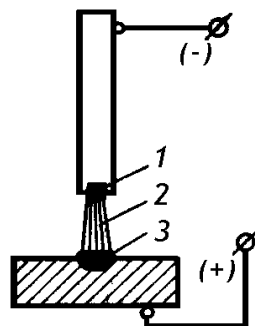


Рисунок 2.2 – Строение свободной дуги, где 1 – катодная зона, 2 – столб дуги, 3 – анодная зона

2.1.3 Условия зажигания и горения дуги

Условия зажигания и горения дуги зависят от рода тока, полярности, химического состава электродов, газового промежутка и его длины. Зажигание и горение дуги протекают лучше на постоянном токе.

Напряжение холостого тока, подводимое к электродам, с учетом безопасности труда при сварке не превышает 80 В на переменном токе и 90 В на постоянном токе. Обычно напряжение зажигания дуги больше по величине напряжения горения дуги на переменном токе в 1,2–2,5 раза, а на постоянном токе – в 1,2–1,4 раза.

Дуга зажигается от нагревания горца электрода (катода). Когда электрод соприкасается с изделием, создается замкнутая сварочная цепь. Торец катодного электрода нагревается за счет выделения теплоты при прохождении тока через контакт, имеющий большое электросопротивление, и при отрыве электрода от изделия на расстояние 1 мм (или несколько более) дуга зажигается. В момент отрыва электрода от изделия с нагретого от короткого замыкания катода начинается термоэлектронная эмиссия. Электронный ток ионизирует газы и пары металла, находящиеся в межэлектродном промежутке, и с этого момента в дуге появляются электронный и ионный токи. Дуговой разряд можно считать установившимся по истечении 10^{-5} – 10^{-4} с.

Поддержание непрерывного горения дуги будет осуществляться, если приток энергии в дугу превышает потери в ней на излучение, конвекцию, диссоциацию, электромагнитные потери и др.

В случае коротких замыканий каплями электродного материала, образующимися на конце плавящегося электрода и переносимыми на изделие, повторные зажигания дуги происходят самопроизвольно, если температура катода остается достаточно высокой. Эта температура зависит от состава материала катода, плотности тока в нем и др.

Таким образом, первым условием для зажигания и горения дуги является наличие специального электрического источника питания дуги, позволяющего быстро производить нагревание катоду до необходимой температуры. Также на-

пряжение холостого хода источника питания должно быть больше напряжения дуги.

Вторым условием для зажигания и горения дуги является наличие ионизации в столбе дуги. Дуга с плавящимся электродом – это в основном дуга в парах металла, а не в газе. Это происходит по той причине, что потенциал ионизации паров металла значительно ниже, чем у газов. Горящую дугу можно растянуть до определенной длины, после чего она гаснет. Чем выше степень ионизации, тем длиннее будет дуга. Длина горящей без обрыва дуги характеризует стабильность дуги.

Третьим условием для сварки на переменном токе является наличие в сварочной цепи реактивного сопротивления (повышенной индуктивности), что повышает стабильность горения дуги. В сварочной цепи переменного тока, имеющей только омическое сопротивление, при горении дуги образуются обрывы (100 обрывов в секунду при частоте переменного тока 50 Гц). При реактивном сопротивлении, включенном в сварочную цепь переменного тока, обрывы в горении дуги отсутствуют

2.1.4 Особенности сварочной дуги

Сварочная дуга по сравнению с другими электрическими разрядами имеет следующие особенности:

1. Неравномерное распределение электрического поля в междуэлектродном пространстве. Вблизи электродов создаются резкие изменения потенциала – это катодное и анодное падения напряжения, причем катодное падение напряжения (порядка 10 В) обычно значительно больше анодного. Такие скачки падений напряжения на участке весьма малой протяженности вызваны условиями прохождения тока из одной среды (металлический проводник) в другую (газ и пары сварочных материалов).

2. Высокая плотность тока в дуге, достигающая тысяч А/см² на электродах и в столбе дуги.

3. Высокая температура дуги. Наибольшая температура достигается в столбе дуги, наименьшая – на поверхности катода и анода. Температура на по-

верхности катода и анода достигает температуры испарения электродов независимо от вида дуговой сварки.

4. Возможность получения различных статических вольтамперных характеристик. Статической вольтамперной характеристикой дуги называют зависимость падения напряжения в дуге от силы тока при постоянной длине дуги (установившемся горении).

Дуга, применяющаяся в сварочной технике, может иметь падающую, жесткую и возрастающую характеристики в зависимости от условий сварки.

- падающая характеристика – с увеличением тока напряжение уменьшается;
- жесткая характеристика – увеличение тока не изменяет напряжения дуги;
- возрастающая характеристика – увеличение сварочного тока приводит к возрастанию напряжения дуги.

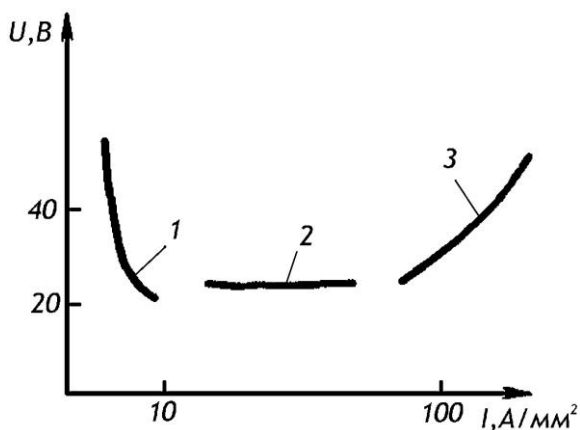


Рисунок 2.3 – Статические вольт-амперные характеристики дуги, где 1 – падающая; 2 – жесткая; 3 – возрастающая

Падающий участок характерен для маломощной дуги, при сварочном токе менее 50 А и плотности тока на электроде 10–12 А/мм². Жесткая характеристика соответствует сварочным токам 50–1000 А и плотностям тока на электроде от 12 до 18 А/мм². Возрастающая характеристика дуги наблюдается при сварке тонкой сварочной проволокой с плотностями тока на электроде более 80 А/мм².

2.2 Основы металлургических процессов при дуговой сварке

2.2.1 Особенности металлургии сварки

Характер металлургических процессов при дуговой сварке подобен характеру металлургических процессов в сталеплавильной печи. Однако между ними наблюдаются как качественные, так и количественные отличия. Сварка характеризуется малыми массами нагретого и расплавленного металла (десятки граммов по сравнению с тоннами в мартеновской печи), высокой температурой нагрева (порядка 2600 °С), большой скоростью процесса, быстрым отводом теплоты из сварочной ванны, окруженной холодными и массивными стенками свариваемого изделия.

Указанные особенности обуславливают кратковременность протекания химических реакций, которые не всегда могут полностью завершаться. С другой стороны, процессы затвердевания и кристаллизации металла шва сильно ускорятся, что существенно отражается на структуре (строении) металла шва и околошовной зоны основного металла.

2.2.2 Окисление и раскисление металла при сварке

При сварке на воздухе расплавленный металл окисляется атомарным и ионным свободным или связанным кислородом. Свободным называют кислород, который получается в зоне дуги из атмосферы воздуха; связанным – кислород, находящийся в оксиде, например SiO_2 .

При сварке стали в значительном количестве окисляется железо. В результате реакции получается низший оксид железа – закись железа FeO . При охлаждении сварочной ванны происходит обратное явление: закись железа (или отрицательные ионы кислорода) выпадают из раствора, так как их растворимость уменьшается со снижением температуры. Скорость охлаждения металла в сварочной ванне влияет на количество выпавшей закиси железа из раствора. При относительно низких скоростях охлаждения закись железа полностью выпадает из раствора и располагается по границам зерен как более легкоплавкий компонент, затем при дальнейшем охлаждении ниже 570 °С свободная закись железа

преобразуется в более высший оксид железа Fe_2O_4 в виде глобулей (шлаковых шариков), которые нарушают прочную связь между зернами и вызывают красноломкость металла, а при комнатной температуре – хрупкость. Кроме оксида железа металл шва засорен и другими оксидами, образующимися от окисления других элементов, например Mn, Si, C.

Улучшение прочностных свойств стали достигается восстановительным процессом, называемым раскислением. Различают осаждающее и диффузионное раскисление.

Сущность осаждающего раскисления сводится к тому, что железо восстанавливается из растворенной закиси железа металлом, обладающим более высоким химическим сродством к кислороду и дающим оксид с очень малой растворимостью в железе. Оксид данного металла выпадает при охлаждении из раствора в виде отдельной фазы (шлаковой частицы), всплывает на поверхность сварного шва и образует совместно с другими оксидами сварочный шлак.

В качестве осаждающих раскислителей при сварке применяют чистые материалы (C, Al), ферросплавы (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.), комплексные раскислители (сплавы, содержащие два раскисляющих элемента и более одновременно).

При подборе раскислителя учитывают его раскислительную способность. Например, при раскислении большим количеством углерода в процессе затвердевания расплава в шве могут от раскисления оставаться газы CO и CO_2 , образуя в швах поры. Чтобы этого не было, нужно иметь остаточного кислорода такое количество, которое обеспечивало бы кристаллизацию без излишнего количества газовыделений.

Содержание азота или его вредное влияние в металле шва можно снизить при раскислении и введением в металл химических элементов, образующих с азотом нерастворимые в жидком металле нитриды, которые в лучшем случае поднимаются из металла шва в сварочный шлак, а в худшем случае – остаются в металле шва с незначительным ухудшением механических свойств. Например, алюминий, применяемый для раскисления железа, соединяется со свободным

азотом, образуется нитрид алюминия, который из сварочной ванны удаляется в шлаковую фазу.

Сущность диффузионного раскисления состоит в том, что для удаления закиси железа из металлического расплава пользуются такими сварочными материалами (покрытием, флюсом, порошком), при плавлении которых образуются сложной структуры шлаки, восстановительные шлаки. В качестве минералов для диффузионного раскисления пользуются такими, в которых содержится малое количество оксидов основного металла.

При сварке сталей раскисление железа и других химических элементов стали обязательно, так как при существующей технологии в металле шва кислорода может оказаться больше, чем в свариваемом металле.

2.2.3 Растворение газов и борьба с ними

При дуговой сварке невозможно получить металл шва, не содержащий газы (азот и водород), так как, во-первых, любой металл, применяемый для сварки, содержит газы, во-вторых, расплавленный электродный и основной металл неизбежно соприкасаются с газовой средой, содержащей азот и водород, которые растворяются в расплавленном железе.

Наиболее неприятным свойством азота и водорода является малая растворимость их в железе в области низких температур. Поэтому эти газы находятся в виде газовых пор или некоторых химических соединений.

Для устранения влияния азота на пористость при сварке в состав сварочных материалов вводят элементы Ti, Zr, Al и др., которые приводят к образованию устойчивых нитридов титана TiN, алюминия AlN и др. Нитриды остаются в металле швов в виде неметаллических включений. Они тоже снижают качество металла шва, но в меньшей степени по сравнению с растворенным в большом количестве азотом.

Применяют два способа борьбы с азотом : 1) физический – защита расплавленного металла от воздуха; 2) химический – введение в расплавленный металл химических элементов, удаляющих азот в виде химических соединений из металла шва в сварочный шлак.

Водород растворяется в железе тем больше, чем выше температура нагревания металла, но только до определенной величины. При охлаждении металла шва водород в виде атомов и ионов выделяется из раствора. С течением времени в процессе охлаждения этот водород за счет диффузии может собраться в микронесплошностях, перейти в молекулярное состояние, что повышает внутреннее давление в несплошности и приводит к трещинам. Для борьбы с растворенным водородом прибегают к дегазации металла медленным охлаждением сварных узлов в специальных камерах или вакуумированием сварных изделий. Источниками водорода при сварке являются воздух, влага в сварочных материалах и ржавчина.

Применяют два способа борьбы с водородом : 1) физический – защита зоны дуги от компонентов, содержащих водород (сушка и проковка материалов, удаление ржавчины, защита дуги от воздуха и др.); 2) химический – перевод водорода из растворимого состояния в нерастворимое, что достигается химической реакцией.

2.2.4 Рафинирование металла шва

Удаление избыточного количества вредных примесей и газов из металла шва называют рафинированием металла. Обычно в сталях вредными примесями и газами являются кислород, азот, водород, сера, фосфор и др. (если рассматривать легированные стали). Рафинирование выполняют с помощью окислительно-восстановительных химических реакций, офлюсованием, медленным охлаждением, вакуумированием и др. Существенную роль в очищении металла шва от вредных примесей приносит офлюсование (флюсование). Некоторые минералы, и вещества (например, плавиковый шпат CaF_2 , рутил TiO_2 и др.) при высоких температурах обладают свойством растворять в себе некоторые вредные неметаллические включения и образовывать с ними легкоплавкую смесь, которая всплывает наверх и переводит вредные вещества из сварочной ванны в шлак.

Рафинирование металла от серы называют десульфурацией (обессериванием). Сера снижает механическую прочность, вызывает горячие трещины. От-

рицательное влияние серы на свойства стали сказывается при ее содержании более 0,01%.

Сера имеет высокую склонность к ликвации – выпадению из раствора в виде сульфида железа FeS . При кристаллизации металла шва из-за низкой температуры плавления примеси серы заполняют в виде жидкости пространство между кристаллитами и от растягивающих напряжений, возникающих в процессе усадки металла шва, образуются горячие трещины в швах.

В последнее время при сварке сталей с повышенным содержанием серы в защитный газ добавляют кислород, необходимый для окисления серы, в результате которого оксид серы улетучивается из сварочной ванны в атмосферу.

Рафинирование металла от фосфора называют дефосфорацией (обесфосфориванием) металла. Фосфор в сталях большинства марок является вредной примесью. Он выделяется по границам зерен металла в виде относительно легкоплавких фосфидов железа. В результате снижается пластичность металла, особенно ударная вязкость при низких температурах. Особенно отрицательное влияние фосфор оказывает на сталь с содержанием углерода 0,1% и более и кремния 0,5% и более.

Дефосфорация металла шва протекает при помощи оксида кальция плюс нейтральные добавки (обычно плавиковый шпат). Тогда фосфаты кальция будут разжижены и поднимутся в сварочный шлак.

2.2.5 Образование трещин

Одним из наиболее опасных дефектов металла сварных швов и околошовной зоны являются горячие трещины, образующиеся по границам кристаллитов на завершающем этапе затвердевания (кристаллизационные трещины). Эти трещины образуются под влиянием загрязнений металла шва и детали. Большинство загрязнений имеют более низкую температуру плавления, чем железо. Поэтому загрязнения при охлаждении металла шва относительно долгое время находятся между кристаллитами (или зернами) в жидком и твердо-жидком состоянии и не могут сопротивляться растягивающим силам, возникающим в сварном соединении в процессе усадки металла шва, трещины по границам кристаллитов

(или зерен), в местах залегания легкоплавких загрязнений становятся неизбежными.

Форма шва влияет на расположение загрязнений, неметаллических включений и, следовательно, на различную вероятность образования горячих трещин. В широких и неглубоких швах опасные включения вытесняются наверх, в сварочный шлак; в узких и глубоких швах включения часто остаются между кристаллитами (или зернами).

Наряду с горячими трещинами бывают холодные. Холодные трещины как в металле швов, так и в основном свариваемом металле возникают под влиянием водорода, мартенситного превращения и от выпадения с течением времени из раствора частиц сульфидов, фосфидов, нитридов и др.

2.2.6 Строение сварного соединения

Соединение, выполняемое сваркой плавлением, состоит из четырех зон: первая – металл шва, вторая – зона сплавления, третья – зона термического влияния и четвертая – основной металл (см. рисунок 2.4).

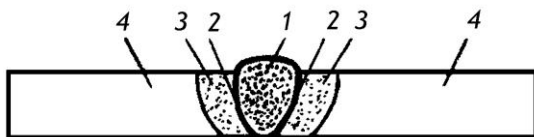


Рисунок 2.4 – Зоны сварного соединения, где 1 – металл шва, 2 – зона сплавления, 3 – зона термического влияния, 4 – основной металл

Основной металл – металл соединяемых частей. Зона термического влияния – участок основного металла, неподвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменяются в результате нагрева и пластической деформации при сварке. Под металлом шва понимают сплав, образованный переплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

Зона сплавления – металл, сосредоточенный по бокам границы между основным металлом и металлом шва. В ней сосредоточены химическая неоднородность, диффузионные процессы и концентрация структурных напряжений,

что является результатом плохого перемешивания в пограничном слое металла сварочной ванны и основного металла. В зоне сплавления металл отличается от соседних металлов химическим составом и механическими свойствами.

Толщина зоны сплавления выражается микронами, но по значению при определении работоспособности сварных соединений ее роль очень велика. В этой зоне наиболее часто возникают трещины и несплавления разнородных плохо сваривающихся металлов. Считают, что химическая неоднородность, возникающая в металле зоны сплавления, приводит к высоким структурным напряжениям, а отсюда и к трещинам.

2.2.7 Микроструктура металла в зоне термического влияния

В зоне термического влияния сварного соединения низкоуглеродистой стали и низколегированной горячекатаной стали различают следующие участки (см. рисунок 2.5): перегрева, полной перекристаллизации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и старения.

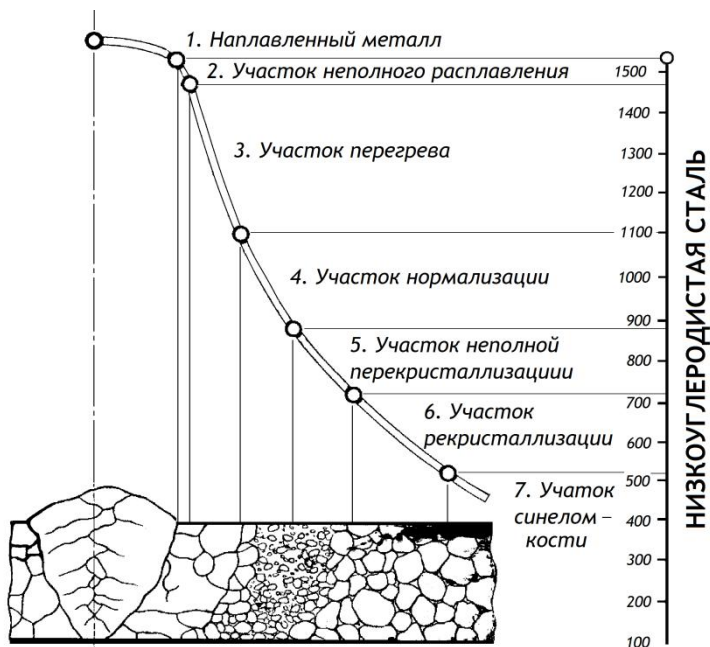


Рисунок 2.5 – Схема строения зоны термического влияния при ручной электродуговой сварке низкоуглеродистой стали

На участке перегрева происходит рост аустенитного зерна. В результате нагревания металла до высоких температур поверхность перегретых зерен может превышать поверхность начальных (до нагревания) зерен в 16 раз при ацетиленокислородной и в 12 раз при дуговой сварке. Перегрев снижает механические свойства стали, главным образом пластичность и сопротивление ударным нагрузкам. Эти свойства тем ниже, чем крупнее зерна и шире участок перегрева.

На участке перегрева находится микроучасток интенсивной диффузии и химической неоднородности, который захватывает часть оплавленных зерен основного металла. Поэтому иногда этот микроучасток рассматривают как самостоятельный участок зоны термического влияния и называют участком неполного расплавления.

По мере удаления от шва температура металла понижается. В пределах температур 900–1100 °С находится участок полной перекристаллизации мелкозернистой структурой. Здесь происходит аустенитное превращение с образованием мелких зерен. Поэтому получаемый при сварке металл на данном участке будет обладать более высокими механическими свойствами.

Участок, нагретый от 500–723 °С, называется участком рекристаллизации; в нем структура стали по составу не изменяется, а происходит лишь восстановление прежней формы и размеров зерен, деформированных при холодной прокатке металла. Если до сварки основной металл не подвергался холодной пластической деформации, то процесс рекристаллизации происходить не будет.

На участке, нагретом ниже 500 °С, структура стали, выявленная оптическим микроскопом, не отличается от структуры основного металла. Однако сталь, нагретая от 100–500 °С, обладает пониженными механическими свойствами, что объясняется выпадением из твердого раствора чрезвычайно мелких частиц различных примесей, располагающихся в основном по границам зерен. Это явление называют старением металла. Металл становится хрупким. Кроме того, снижение пластичности происходит под влиянием образующихся от сварки пластических деформаций в сварных соединениях. Для низкоуглеродистой стали это соответствует температурам нагрева сварных соединений неограниченных размеров от 100 °С.

2.3 Материалы и оборудование

2.3.1 Электроды

Электродом для дуговой сварки называют стержень, предназначенный для подвода тока к сварочной дуге. Для ручной дуговой сварки электроды представляют собой стержни круглого сечения различной длины и диаметра. Для механизированной дуговой сварки в качестве электрода применяют сварочную, порошковую и самозащитную металлическую проволоку.

Электроды подразделяют на плавящиеся (из стали, чугуна, алюминия, меди и их сплавов) и неплавящиеся. Плавящиеся электроды служат и присадочным металлом.

2.3.1.1 Проволока стальная сварочная

Для сварки сталей применяют специальную стальную проволоку, изготавливаемую по ГОСТ 2246-70. Стандарт распространяется на холоднотянутую гладкую проволоку из низкоуглеродистой, легированной и высоколегированной стали, поставляемую в мотках или бухтах массой до 80 кг.

Стандартом предусмотрено 75 марок сварочной проволоки различного химического состава; выпускается шесть марок низкоуглеродистой проволоки (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2), 30 марок легированной проволоки (Св-08 ГС, Св-08 Г2С, Св-12ГС, Св-15ГСТЮЦА и др.) и 39 марок высоколегированной проволоки (Св-12Х13, Св-12Х11НМФ, Св-1 ОХ 17Т и др.). В легированной стали легирующих элементов содержится от 2,5 до 10%, в высоколегированной – более 10%.

Буквы и цифры в написании марок проволоки обозначают: Св-08 – сварочная 0,08 % углерода (среднее содержание); А – пониженное, АА – еще более пониженное содержание серы и фосфора; Г – легированная марганцем; Г2 – содержащая до 2% марганца.

Проволоку выпускают следующих диаметров, 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. Проволока с диаметром до 3 мм применяется для шланговой сварки; от 1,6 до 6,0 мм – для ручной сварки покры-

тыми электродами; от 2 до 5 мм – для автоматической сварки под флюсом; проволока больших диаметров – для наплавочных работ.

2.3.1.2 Покрытые электроды

В сварочной технике применяются различные металлические электроды для дуговой сварки, из которых наибольшее значение имеют стальные электроды. Современный металлический электрод (см. рисунок 2.6) состоит из двух частей: электродного стержня и покрытия или обмазки. Электродный стержень представляет собой выправленный кусок стальной проволоки нужного диаметра и установленной длины. Диаметр стержня принимается за диаметр электрода. Наиболее распространены электроды диаметром от 3 до 6 мм; нормальная длина равна 450 мм

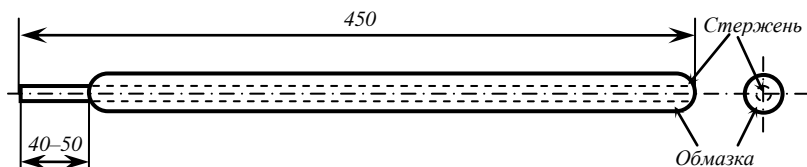


Рисунок 2.6 – Металлический электрод

Обмазка или покрытие электрода состоит из порошкообразных материалов различного состава, сцементированных для прочности жидким стеклом или другим подходящим склеивающим материалом. Электродные обмазки могут быть разделены на две большие группы: 1) тонкие или ионизирующие или стабилизирующие обмазки; 2) толстые или качественные обмазки. Принадлежность электрода к той или другой категории может быть определена уже при внешнем осмотре по толщине покрытия, нанесённого на поверхность электрода. Тонкие обмазки наносятся слоем толщиной в несколько десятых долей миллиметра, вес обмазки 1–5% от веса электродного стержня. Толстые или качественные обмазки наносятся слоем толщиной 1–3 мм. Вес их составляет 15–30, а часто и более процентов от веса электродного стержня.

Основное назначение тонких обмазок – стабилизировать, т. е. сделать более устойчивым горение дуги. Стабилизация дуги достигается усилением ионизации дугового промежутка, производимым обмазками. При горении дуги

вместе с электродным стержнем плавится и испаряется также и обмазка, нанесённая на поверхность электрода. Пары материала обмазки, попадая в столб дуги и подвергаясь действию высокой температуры, прежде всего подвергаются диссоциации, т. е. распадению сложных химических соединений на более простые, вплоть до свободных атомов. Если в обмазке имеются вещества с низким потенциалом ионизации, например щелочные и щёлочно-земельные металлы, то пары обмазки легко ионизируются и повышают электропроводность дугового промежутка, облегчая горение дуги.

В первую очередь для этой цели пригодны щелочные и щёлочно-земельные металлы, калий, натрий, кальций, барий, стронций. Особенно эффективным является применение соединений калия, который из обычных, легко доступных элементов имеет наименьший потенциал ионизации. Не безразлично, в какой форме, т. е. в виде какого соединения, вводится гот или другой легко ионизирующийся элемент.

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.

Для устойчивого горения дуги в покрытие вводят вещества, обладающие малой величиной потенциала ионизации, главным образом соли щелочноземельных металлов: рутил (TiO_2), полевой шпат, содержащий некоторое количество солей щелочных металлов, калиевое или натриевое жидкое стекло и др.

Покрытые электроды для ручной дуговой сварки и наплавки подразделяют по назначению:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа, обозначаются У;
- для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву выше 600 МПа – 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 диаметра D электрода к диаметру d стального стержня:

- с тонким покрытием ($D/d < 1,20$) – М;
- со средним покрытием ($1,20 < D/d < 1,45$) – С;
- с толстым покрытием ($1,45 < D/d < 1,80$) – Д;
- с особо толстым покрытием ($D/d > 1,80$) – Г.

По видам покрытия: с кислым (А), рутиловым (Р), целлюлозным (Ц), с основным (Б), смешанным (соответствующее двойное условное обозначение), с прочим покрытием (П).

Кислые покрытия состоят в основном из оксидов железа и марганца (обычно в виде руд), кремнезема, ферромарганца.

Рутиловые покрытия имеют в своем составе преобладающее количество рутила. Например, покрытие электрода марки МР-3 состоит из рутила (50%), талька, мрамора, каолина, ферромарганца, целлюлозы и жидкого стекла. Рутиловые покрытия при сварке менее вредны для дыхательных органов сварщика, чем другие; шлак на шве образуется тонкий, быстрозатвердевающий и поэтому рутиловыми электродами можно выполнять швы в любом положении.

Целлюлозные покрытия состоят из целлюлозы, органической смолы, ферросплавов, талька и др.

Основные покрытия не содержат оксидов железа и марганца. Например, покрытие марки УОНИИ – 13/45 состоит из мрамора, плавикового шпата, кварцевого песка, ферросилиция, ферромарганца, ферротитана, жидкого стекла.

Металл шва, выполненный электродами с основным покрытием, обладает относительно большой ударной вязкостью, меньшей склонностью к старению и образованию трещин. Этими электродами сваривают особо ответственные изделия из низкоуглеродистой и легированной сталей.

Целлюлозные покрытия удобны при сварке в любом пространственном положении, но дают наплавленный металл пониженной пластичности. Их применяют главным образом для сварки низкоуглеродистой стали малой толщины.

При выборе марки электрода для сварки конструкций в монтажных условиях следует учитывать трудность поддержания постоянной длины дуги, что мо-

жет привести к образованию пор в швах. Электроды с основными покрытиями очень чувствительны к изменению длины дуги. Поэтому при монтажной сварке часто применяют электроды с рутиловым (MP-3) или с рутилоосновным покрытием (СМ-11, АНО-11 и др).

По качеству, т. е. точности изготовления, состояния поверхности покрытия, сплошности выполненного данными электродами металла шва и по содержанию серы и фосфора в наплавленном металле, электроды делятся на группы 1, 2 и 3.

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки покрытые электроды обозначают:

- 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.

По роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока электроды обозначают с номера 0 до.

2.3.1.3 Типы покрытых электродов для сварки конструкционных сталей

В обозначении типа электрода входят буквы Э (электрод) и цифра, показывающая минимальное временное сопротивление разрыву металла шва или наплавленного металла или сварного соединения в 10^7 Па. Буква А после цифрового обозначения электродов Э42А, Э46А, Э50А указывает на повышенные пластичность и вязкость металла шва. Каждый тип включает несколько марок электродов. Например, к электродам типа Э46 относятся марки электродов АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4, ОЗС-6 и др.

Выбор типа и марки электрода зависит от марки свариваемой стали, толщины листа, жесткости изделия, температуры окружающего воздуха при сварке, пространственного положения, условий эксплуатации сварного изделия и др.

2.3.1.4 Неплавящиеся электроды

Неплавящиеся электроды применяют главным образом для сварки в защитном газе и плазменной сварки и резки. Неплавящиеся электроды разделяют на угольные, графитовые и вольфрамовые.

Изготовление графитовых электродов, предназначенных для дуговой сварки или резки, стандартом не предусмотрено. Их можно изготовить из остатков или отходов электродов плавильных печей разрезкой с последующим обтачиванием. Сопротивление графита в 4 раза меньше, чем сопротивление угля, – это позволяет использовать графитовые электроды при больших плотностях тока.

Угольные и графитовые электроды применяют только при сварке на постоянном токе. Угольные электроды изготавливают прессованием из порошка кокса с последующим отжигом при температуре $\sim 1400^{\circ}\text{C}$. Различают два вида этих электродов – омедненные и неомедненные. Применяют их для сварки металлов, воздушно-дуговой резки, удаления прибылей отливок в других работ. Угольные электроды выпускают трех марок: ВДК – воздушно-дуговые круглые; ВДП – воздушно-дуговые плоские; СК – сварочные круглые.

Электроды марки ВДК изготавливают номинальными диаметрами 6, 8, 10 и 12 мм и длиной 300 ± 10 мм, марки ВДП – номинальным сечением 12×5 и 18×5 и длиной (350 ± 10) мм, марки СК – номинальными диаметрами 4, 6, 8, 10, 15 и 18 мм и длиной (250 ± 10) мм.

Вольфрам – тугоплавкий металл (температура плавления 3410°C), имеет достаточно высокую электропроводность и теплопроводность. При сварке вольфрамовым электродом на постоянном токе применяют прямую полярность. Для данных электродов применяют стержни следующих марок: ЭВЧ – электродный вольфрам чистый; ЭВЛ-10 и ЭВЛ-20 – электродный вольфрам с присадкой 1–2% оксида лантана; ЭВТ-15 – электродный вольфрам с оксидом тория; ЭВИ-30 – электродный вольфрам с 1,5 – 2% оксида иттрия. Присадки к вольфраму способствуют устойчивому горению дуги, а также позволяют увеличивать плотность тока на электроде. Для уменьшения окисления вольфрамового электрода и защиты сварочной ванны сварка производится в инертном газе. Диаметр вольфрамовых электродов составляет 2–10 мм в зависимости от силы сварочного тока.

2.3.2 Устройство сварочного трансформатора

Сварочный трансформатор преобразует переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты и служит для питания сварочной дуги. Трансформатор имеет стальной сердечник (магнитопровод) и две изолированные обмотки. Обмотка, подключенная к сети, называется первичной, а обмотка, подключенная к электрододержателю и свариваемому изделию – вторичной. Для надежного зажигания дуги вторичное напряжение сварочных трансформаторов должно быть не менее 60–65 В; напряжение дуги при ручной сварке обычно не превышает 20–30 В.

Одним из наиболее распространенных источников переменного тока является сварочный трансформатор типа ТД-401У2. Расшифровка условного обозначения: Т – трансформатор, Д – дуговой, 4 – условное обозначение номинального сварочного тока, 01 – регистрационный номер, У2 – климатическое исполнение и категория размещения. В нижней части сердечника 1 находится первичная обмотка 3, состоящая из двух катушек, расположенных на двух стержнях. Катушки первичной обмотки закреплены неподвижно. Вторичная обмотка 2, также состоящая из двух катушек, расположена на значительном расстоянии от первичной. Катушки как первичной, так и вторичной обмоток соединены параллельно. Вторичная обмотка – подвижная и может перемещаться по сердечнику с помощью винта 4 и рукоятки 5, находящейся на крышке кожуха трансформатора.

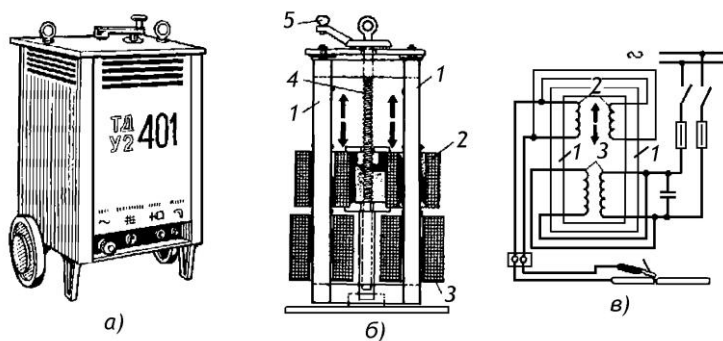


Рисунок 2.7 – Сварочный трансформатор ТД-401У2, где а – общий вид, б – вид без кожуха, в – электрическая схема.

Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. При вращении рукоятки 5 по часовой стрелке вторичная обмотка приближается к первичной, магнитный поток рассеяния и индуктивное сопротивление уменьшаются, сварочный ток возрастает. При вращении рукоятки против часовой стрелки вторичная обмотка удаляется от первичной, магнитный поток рассеяния растет (индуктивное сопротивление увеличивается) и сварочный ток уменьшается. Пределы регулирования сварочного тока 65–460 А. Последовательное соединение катушек первичной и вторичной обмоток позволяет получать малые сварочные токи с пределами регулирования 40–180 А.

Диапазоны тока переключают выведенной на крышку рукояткой. Однотипными являются трансформаторы ТД-307У2, ТД-503У2 и другие серии ТД.

2.3.3 Принадлежности и инструмент сварщика

Для зажатия электрода и подвода к нему сварочного тока служит электрододержатель. Электрододержатель предназначен для крепления электрода, подвода к нему сварочного тока и манипулирования электродом при сварке. Электрододержатель должен быть по возможности легким, обеспечивать хороший электрический контакт, позволять вести работу без приложения сварщиком длительного усилия. Кроме того, электрододержатель должен обеспечивать надежное крепление электрода в различных положениях, чтобы исключить возможность изгиба последнего при сварке в труднодоступных местах.

Согласно ГОСТ 14651-78Е, электрододержатели выпускают трех типов в зависимости от силы сварочного тока: I типа – для тока 125 А; II типа – 125–315 А; III типа – 315–500 А. Во всех типах электрододержатель должен выдерживать без ремонта 8000 зажимов электродов. Время смены электрода не должно превышать 4 с.

Электрододержатель должен обеспечивать возможность, крепления электрода не менее чем в двух положениях; под углами 90 и 115° к его оси. На смену электрода должно затрачиваться не более 4 сек. Превышение температуры наружной поверхности рукоятки над температурой окружающей среды допускается не более чем на 55° С.

Электрододержатели различаются по способу крепления электрода. Наибольшее распространение получили электрододержатели вилочные и пластинчатые как показано на рисунке 3.8. Они просты в изготовлении, имеют небольшую массу и позволяют быстро менять и устанавливать электрод под разными углами. Однако они не всегда обеспечивают хороший контакт с электродом, что приводит к подгоранию контактных поверхностей. Эти электрододержатели имеют много незаизолированных металлических поверхностей, что приводит часто к коротким замыканиям.

Некоторое распространение получил электрододержатель, позволяющий почти полностью исключить огарки и снизить время крепления электрода в электрододержателе. Безогарковый электрододержатель (рисунок 2.8, д) состоит из стержня 1 с рукояткой 2 и провода 3. Поверхность стержня 1 покрыта изоляционным слоем. Электрод не зажимается, а приваривается к концу стержня за счет возбуждения дуги между торцами и последующего быстрого соприкосновения. В процессе сварки электрод расплавляется полностью, после чего прихватывается следующий электрод. Для ускорения и облегчения прихватки электродов к электрододержателю служит стакан, на дне которого уложена медная или графитовая пластина.

Наряду с универсальными разработано много специализированных электрододержателей, предназначенных для сварки определенных швов.

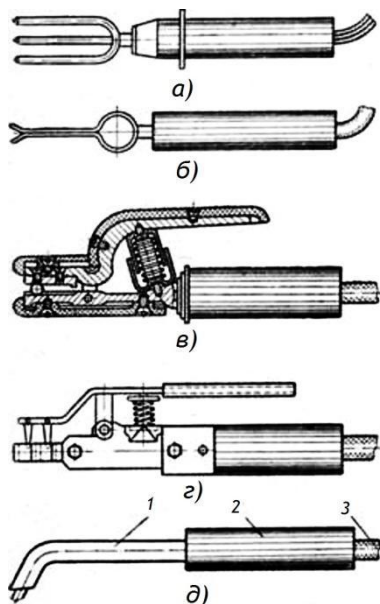
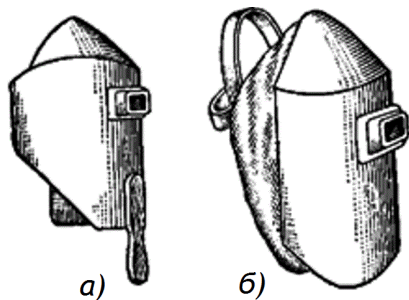


Рисунок 2.8 – Различные виды электрододержателей для ручной дуговой сварки, где а – вилочный, б – пластинчатый, в – пружинный, г – для сварки несколькими электродами, д – безогарковый, 1 – стержень, 2 – рукоятка, 3 – провод

Щитки (см. рисунок 2.9)

изготавливают согласно требованиям ГОСТ 12.4.035-78 из легких и не-сгораемых материалов (спецпласт-массе). Масса ручного щитка не должна превышать 0,48 кг, наголов-ного – 0,50 кг.



Защитные стекла (свето-

фильтры) предназначены для защи-ты глаз и кожи лица от лучей дуги,

Рисунок 2.9 – Устройства для защиты лица сварщика, где а – щиток, б – шлем

брызг металла и шлака. ГОСТ 12.4.080-79 предусматривает 13 классов (номеров) светофильтров при сварке на токах от 5 до 1000 А. Номер светофильтра подби-рают в зависимости от тока, состава свариваемого металла, вида дуговой сварки, различаемой способом защиты сварочной ванны от действия газов воздуха и ин-дивидуальных особенностей зрения сварщика. Размер светофильтра 52×102 мм. Светофильтр вставляют в рамку щитка. Светофильтр защищают от брызг снару-жи обычным оконным стеклом. Прозрачное стекло меняют по мере загрязнения.

Кабели и сварочные провода служат для подвода тока от источника пи-тания к электрододержателю и изделию. Электрододержатели присоединяют к гибкому с медными жилами кабелю ПРГД или ПРГДО (ГОСТ 6731-77Е). При отсутствии значительных механических воздействий можно использовать кабель АПРГДО с алюминиевыми жилами. Медный кабель ПРГД может противостоять воздействию ударных нагрузок, а также трению о металлические конструкции, абразивные материалы. Медный кабель ПРГДО и алюминиевый АПРГДО не мо-гут подвергаться значительному механическому воздействию. Длина гибкого кабеля, к которому присоединяется электрододержатель, обычно равна 2–3 м. Кабель разных марок соединяют муфтами, пайкой или медными наконечниками и болтами. Провод, соединяющий свариваемое изделие с источником питания, может быть менее гибким и более дешевым. Сечения медных проводов (жил) вы-бирают по установленным нормативам для электротехнических установок 5–2 А/мм² при токах 100 – 300 А.

Для присоединения к свариваемому изделию провод часто снабжают быстродействующим зажимом, изготовленным из электропроводного металла (меда, бронзы). Зажимы могут быть пружинного или винтового типа (см. рисунок 2.10).

Одежда сварщика (костюм и халат) шьется из брезентовой парусины, иногда из специальной (пленочной) ткани. Брюки надевают поверх обуви для предохранения ног от ожогов горячими огарками, образующимися при смене электродов, и брызгами металла.

Одежда из прорезиненного материала не применяется, так как легко прожигается нагретыми частицами металла. Все сварщики должны пользоваться брезентовыми рукавицами. При сварке внутри резервуаров, баков, цистерн необходимо пользоваться резиновыми сапогами и резиновым шлемом.

Инструмент сварщика включает в себя: стальная щетка для зачистки кромок перед сваркой и для удаления с поверхности швов остатков шлака; молоток-шлакоотделитель для удаления шлаковой корки, особенно с угловых швов или швов, расположенных в узкой, глубокой разделке между кромками (см. рисунок 2.11, а), зубило, набор шаблонов для проверки размеров швов или для этой же цели универсальный измеритель швов (см. рисунок 2.11, б); стальное клеймо для швов; стальная линейка; отвес; угольник; чертилка, а также ящик для хранения и переноски инструмента. В условиях заводского цеха или на крупных строительных площадках, где есть источник сжатого воздуха, сварщики обычно применяют пневматические зубила.

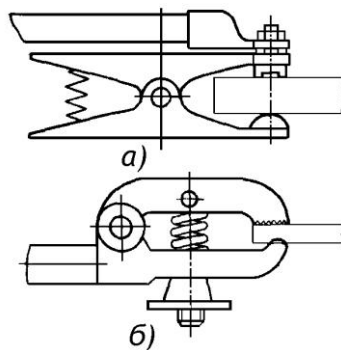


Рисунок 2.10 – Зажимы для присоединения сварочного провода к изделию, где а – пружинный, б – винтовой

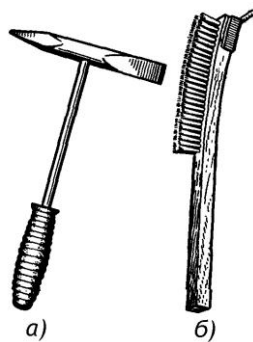


Рисунок 2.11 – Инструмент для зачистки шва и свариваемых кромок, где а – молоток-шлакоотделитель, б – щетка

2.3.4 Оборудование сварочного поста для дуговой сварки

Сварочный пост – рабочее место сварщика, оборудованное всем необходимым для выполнения сварочных работ. Сварочный пост укомплектован источником питания, электрическими проводами, электрододержателем, сборочно-сварочными приспособлениями и инструментом, щитком.

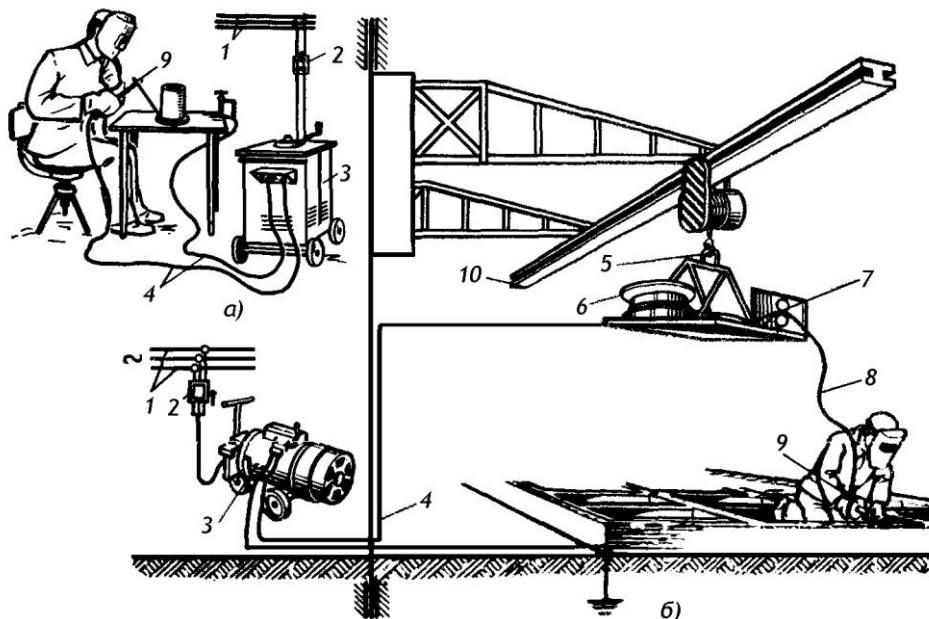


Рисунок 2.12 – Сварочные посты для ручной и механизированной сварки, где а – ручная сварка от сварочного трансформатора или сварочного выпрямителя, б – сварка шланговым полуавтоматом; 1 – сеть электропитания, 2 – рубильник или магнитный пускатель, 3 – источник питания дуги, 4 – сварочные провода, 5 – подвеска полуавтомата, 6 – катушка с электродной проволокой, 7 – механизм подачи проволоки, 8 – шланг для подачи электродной проволоки, 9 – горелка или электрододержатель, 10 – консоли с рельсом

Сварочные посты в зависимости от рода применяемого тока и типа источника питания дуги делят на виды: постоянного тока с питанием от сварочного выпрямителя или сварочного преобразователя; переменного тока с питанием от

сварочного трансформатора. Сварочные посты могут быть стационарными или передвижными.

Стационарные посты представляют собой открытые сверху кабины размером 2×2 или 2×3 м и высотой не менее 2-х метров для сварки изделий небольших размеров. Кабину изготавливают из любых несгораемых материалов (тонкие стальные листы, асбестоцементные плиты и т. п.). Вход в кабину делают в виде штор из брезента с огнестойкой пропиткой, а пол – из огнестойких материалов. Между стенками кабины и полом должен быть зазор не менее 50 мм для вентиляции. В кабине обычно помещают однопостовой сварочный трансформатор или сварочный выпрямитель. Вращающийся преобразователь постоянного тока создает при работе сильный шум, поэтому его лучше размещать за пределами кабины. При питании сварочных постов от многопостовых выпрямителей сварочный ток разводят по кабинам проводами или шинами. В кабине устанавливают металлический сварочный стол высотой 0,5–0,6 м для работы сидя, или 0,9 м для работы стоя. Вместо стола может быть установлен кантователь или другое механическое оборудование, облегчающее поворот изделия для удобства сварки швов. Также там располагается рубильник или магнитный пускатель для включения источника сварочного тока. На рабочем столе располагают специальные приспособления для сборки и зажатия свариваемых деталей, а также ящики для покрытых электродов и инструмента. На стенке кабины подвешивают сушильный шкаф для прокали электродов.

Передвижные сварочные посты применяют при строительстве различных зданий и сооружений непосредственно на строительной площадке. Эти посты размещают в передвижных машинных залах, изготовленных из стального каркаса, обшитого тонким листовым железом. В зале размещают 1–3 сварочных аппарата, пусковую аппаратуру, печь для прокали электродов, шкаф для инструмента и сварочного кабеля. Передвижные машинные залы имеют внизу полозья для перемещения на короткое расстояние волоком, а в верхних углах – приваренные проушины для зацепления стропами и перемещения по высоте краном или погрузки на машины и вагоны.

2.4 Сварные соединения и швы

2.4.1 Основные типы сварных соединений

Сварным соединением называют неразъемное соединение двух деталей, выполненное сваркой. При ручной дуговой сварке применяют стыковое, угловое, тавровое, нахлесточное и торцовое соединения. Применяется также соединение нахлесточное с точечным сварным швом, выполненное дугой (ГОСТ 14776-79). Некоторые формы поперечных сечений основных типов сварных соединений представлены на рисунке 2.13. Тип сварного соединения определяет проектировщик, а форму поперечного сечения устанавливает технолог.

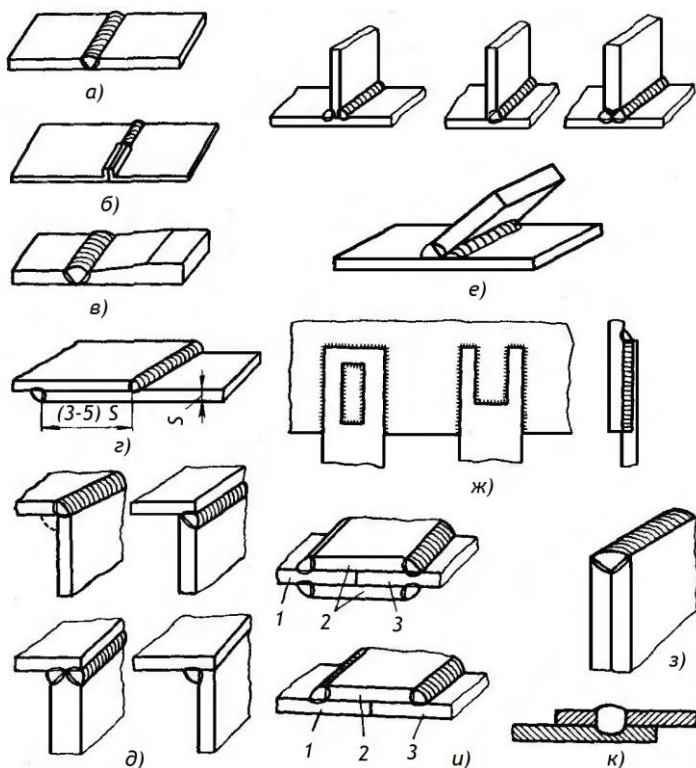


Рисунок 2.13 – Основные виды сварных соединений, где а – стыковые, б – стыковые с отбортовкой, в – стыковые листов разной толщины, г – нахлесточные, д – угловые, е – тавровые, ж – прорезные, з – торцовые, и – с накладками, к – электрозаклепочные; 1, 3 – свариваемые детали, 2 – накладки

2.4.2 Классификация сварных швов

Сварные швы подразделяют по типу сварного соединения и геометрическому очертанию сечения шва на стыковые и угловые (см. рисунок 2.14). Стыковой шов характеризуется шириной e и усилением q , глубиной провара h , зазором b , угловой – катетом K .

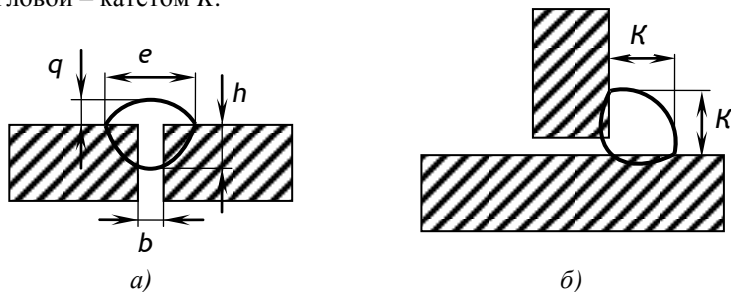


Рисунок 2.14 – Геометрические параметры сварных швов, где а – стыковой, б – угловой

Стыковые швы применяют для выполнения стыковых соединений. Угловые швы применяют в нахлесточных, тавровых и угловых соединениях. Размеры сечения швов установлены ГОСТ 5264-80.

По форме наружной поверхности стыковые швы могут быть плоские или выпуклые. Угловые швы могут выполняться и вогнутыми. Сварные соединения с выпуклыми швами лучше работают на статическую нагрузку, чем соединения с плоскими или вогнутыми швами. Однако швы со слишком большой выпуклостью вследствие большого количества наплавленного металла неэкономичны. Стыковые соединения с плоскими швами и угловые, тавровые и нахлесточные соединения с вогнутыми швами лучше работают на динамическую или знакопеременную нагрузку, чем соединения с выпуклыми швами. Это объясняется тем, что при плоских и вогнутых швах нет резких переходов от основного к наплавленному металлу, в которых имеется концентрация напряжений и от которых может начаться разрушение соединения. В соответствии со стандартом допускается выпуклость шва при нижней сварке до 2 мм и не более 3 мм для швов, выполненных в остальных положениях. Вогнутость допускается во всех случаях не более 3 мм.

Согласно ГОСТ 11969-79, швы подразделяют по положению: в лодочку – *Л*, нижние – *Н*, полугоризонтальные – *Пг*, горизонтальные – *Г*, полувертикальные – *Пв*, вертикальные – *В*, полупотолочные – *Пл*, потолочные – *П*.

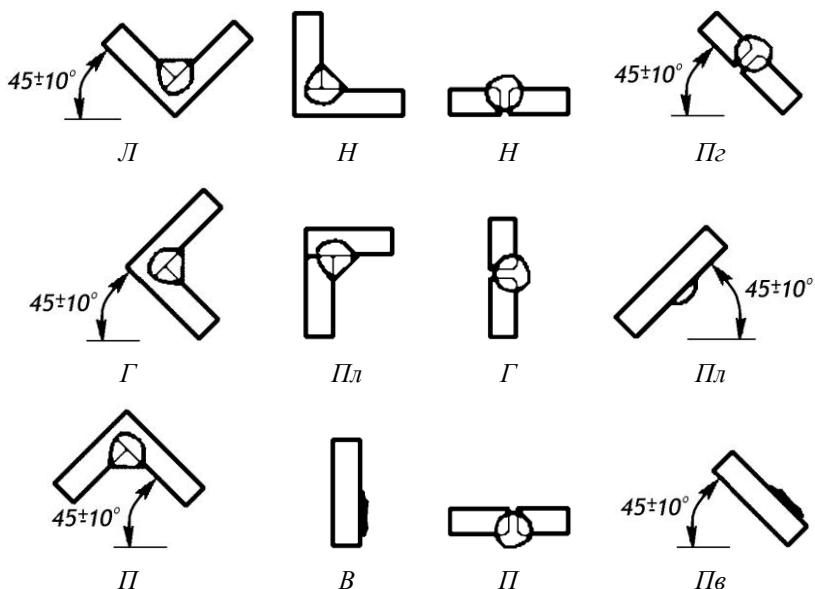
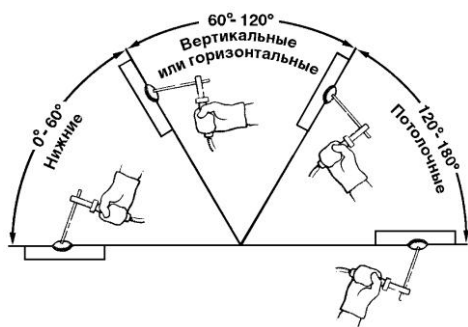


Рисунок 2.15 – Основные положения сварки и их обозначения

Сварка нижних швов наиболее удобна, легко поддается механизации. Наиболее сложен и труден потолочный шов, выполнение которого требует специальной тренировки. Выполнение горизонтальных и вертикальных швов несколько труднее, чем нижних, но легче потолочных. Вертикальные, горизонтальные и потолочные швы в большинстве случаев применяют в строительстве и монтаже крупных сооружений и значительно реже – в заводских условиях, где с помощью приспособлений удастся почти полностью сваривать конструкцию только в нижнем положении.

По отношению к направлению действующих усилий швы подразделяют на фланговые (продольные, боковые), оси которых параллельны направлению усилия; лобовые (поперечные), оси которых перпендикулярны направлению усилия; комбинированные и косые.

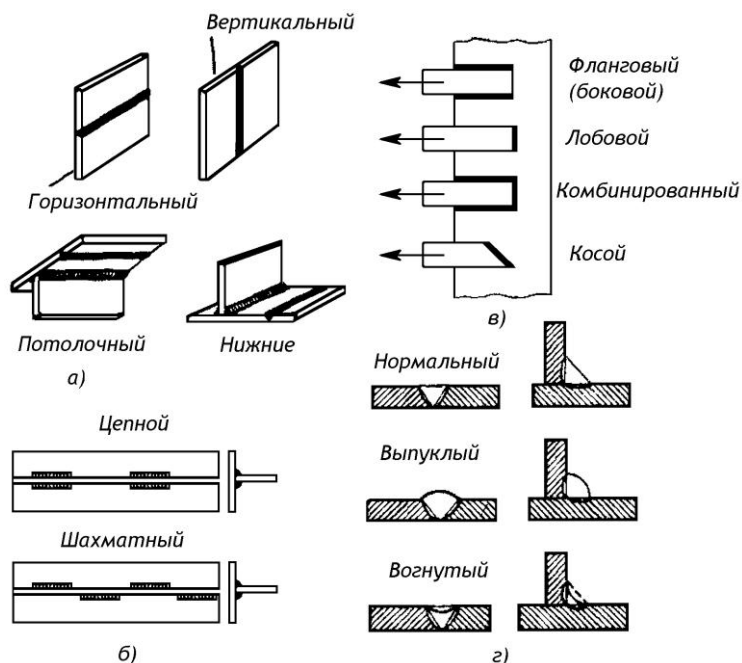


Рисунок 2.16 –
Классификация сварных швов по протяженности (а), отношению к направлению действующих усилий (б), форме наружной поверхности (в)

По протяженности различают швы сплошные и прерывистые. Прерывистый шов может быть цепным или шахматным. Цепной шов представляет собой двусторонний прерывистый шов таврового соединения, в котором участки сварки и промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого. Шахматный шов – двусторонний прерывистый шов таврового соединения, в котором промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва на другой стороне. Расстояние от начала проваренного участка шва до начала следующего участка называется шагом шва.

По условиям работы швы подразделяются на рабочие, воспринимающие внешние нагрузки, и связующие (соединительные швы), предназначенные только для скрепления частей изделия. Связующие швы часто называют нерабочими швами.

2.5 Техника выполнения сварных соединений

2.5.1 Подготовка металла под сварку

Подготовка металла под сварку заключается в правке, очистке, разметке, резке и сборке. Правкой устраняют деформацию прокатной стали. Листовой и сортовой металл правят в холодном состоянии на листопрямильных и углопрямильных вальцах и прессах. Сильно деформированный металл правят в горячем состоянии.

Перенос размеров детали в натуральную величину с чертежа на металл называют разметкой. При этом пользуются инструментом: рулеткой, линейкой, угольником и чертилкой. Проще и быстрее разметка выполняется шаблоном, изготавливаемым из тонкого металлического листа. При разметке заготовок учитывается укорачивание их в процессе сварки конструкции. Поэтому предусматривается припуск из расчета 1 мм на каждый поперечный стык и 0,1–0,2 мм на 1 м продольного шва.

При подготовке деталей к сварке применяют преимущественно термическую резку. Механическую резку целесообразно выполнять при заготовке однотипных деталей, главным образом с прямоугольным сечением.

Часто кислородную резку, особенно машинную, сочетают со снятием угла скоса кромок. После термической резки иногда проводят механическую обработку по кромкам для удаления науглероженного металла.

2.5.2 Сборка деталей под сварку

Трудоемкость сборки деталей под сварку составляет около 30% от общей трудоемкости изготовления изделия. Она зависит от ряда условий (серийности производства, типа изделий и др.). Для уменьшения времени сборки, а также для повышения ее точности применяют различные приспособления. Приспособления могут быть предназначены только для сборки деталей под сварку или только для сварки уже собранного изделия (например, для выполнения швов в изделии только в нижнем положении) или пользуются комбинированными сборочно-сварочными приспособлениями.

Сборка является весьма ответственной операцией в общем технологическом процессе изготовления сварных конструкций. При сборке важно обеспечить требуемую точность пригонки и совпадения кромок свариваемых элементов.

Изделия чаще собирают на сварочных прихватках. Сварочные прихватки представляют собой неполноценные короткие швы с поперечным сечением до $\frac{1}{3}$ сечения полного шва. Прихватки придают изделию жесткость и препятствуют перемещению деталей, что может привести к трещинам в прихватках при их охлаждении. Чем больше толщина свариваемых листов, тем больше растягивающая усадочная сила в прихватках и больше возможность образования трещин. Поэтому сборку на сварочных прихватках применяют для конструкций из листов небольшой толщины (до 6–8 мм). При значительной толщине листов необходимо обеспечить податливость деталей и сборку изделия выполняют на механических приспособлениях.

При сборке необходимо учитывать возможность последующей деформации изделия под влиянием нагрева при сварке и усадке наплавленного металла. Поэтому, например, при сборке под сварку угловых швов прямой угол между деталями следует увеличивать на 2–3°, так как при усадке металла шва этот угол уменьшится. Точность сборки проверяют с помощью инструмента (см. рисунок 6.7).

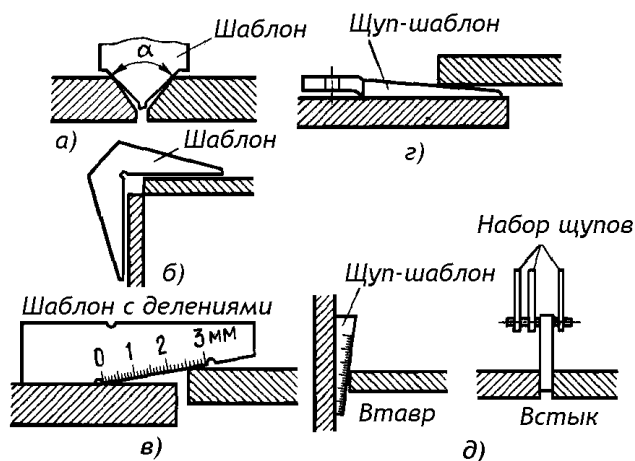


Рисунок 2.17 – Инструмент для проверки качества сборки, где а – угла раскрытия листов; б – правильности прямого угла сборки; в – величины превышения кромок; г – зазора между листами в нахлестку; д – зазоров при соединении в тавр и в стык

2.5.3 Техника выполнения швов

Зажигание дуги. Зажигание дуги между покрытым электродом и свариваемым изделием выполняют в два приема: коротким замыканием конца электрода с изделием и отрывом электрода от поверхности изделия на расстояние, равное примерно диаметру покрытого электрода.

Короткое замыкание электрода с изделием необходимо для нагревания металла до соответствующей температуры в катодном пятне, что обеспечивает выход первичных электронов и, следовательно, образование дуги.

Существует два способа зажигания дуги покрытыми электродами – впритык и скольжением, чирканьем. По первому способу зажигания дуги металл нагревается в точке короткого замыкания, по второму – в нескольких точках, в результате скольжения торца электрода по поверхности свариваемого изделия.

Используются оба способа зажигания дуги, причем первый чаще применяется при сварке в узких и неудобных местах.

Длина дуги. Немедленно после зажигания дуги начинается плавление основного и электродного металлов. На изделии образуется ванна расплавленного металла. Сварщик должен поддерживать горение дуги так, чтобы ее длина была постоянной. От правильно выбранной длины дуги зависят производительность сварки и качество сварного шва. Сварщик должен подавать электрод в дугу со скоростью равной скорости плавления электрода. Умение поддерживать дугу постоянной длины характеризует квалификацию сварщика.

Нормальной считают длину дуги, равную 0,5–1,1 диаметра стержня электрода в зависимости от типа и марки электрода и положения сварки в пространстве. Увеличение длины дуги снижает ее устойчивое горение, глубину проплавления основного металла, повышает потери на угар и разбрызгивание электрода, вызывает образование шва с неровной поверхностью и усиливает вредное воздействие окружающей атмосферы на расплавленный металл.

Положение электрода. Наклон электрода при сварке зависит от положения сварки в пространстве, толщины и состава свариваемого металла, диаметра электрода, вида и толщины покрытия.

Направление сварки может быть слева направо, справа налево, от себя и к себе (см. рисунок 2.18, а).

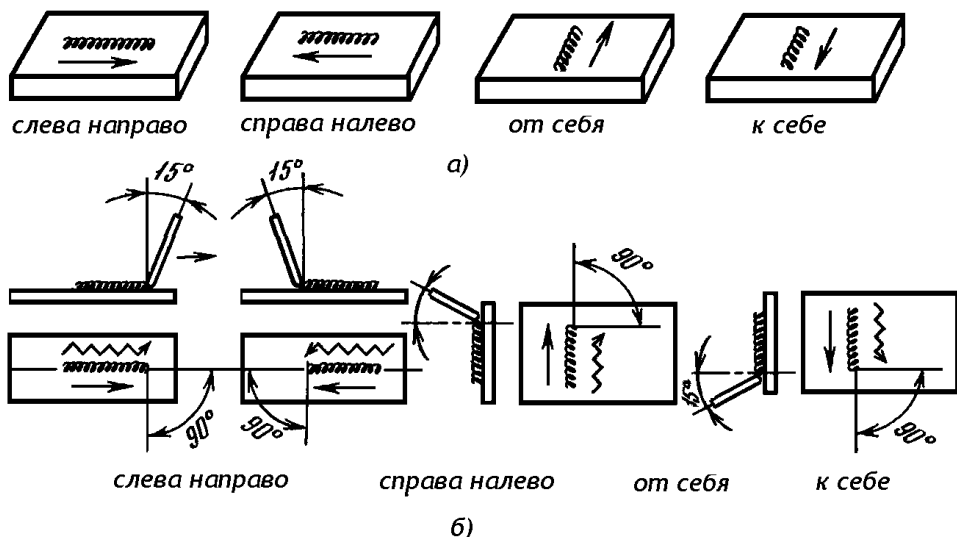


Рисунок 2.18 – Направления сварки (а) и наклон электрода (б)

Независимо от направления сварки электрод должен быть наклонен к оси шва так, чтобы металл свариваемого изделия проплавлялся на наибольшую глубину и правильно бы формировался металл шва. Для получения плотного и ровного шва для сварки в нижнем положении на горизонтальной плоскости угол наклона электрода должен быть 15° от вертикали в сторону ведения шва – углом назад (см. рисунок 2.18, б).

Обычно дуга сохраняет направление оси электрода; указанным наклоном электрода сварщик добивается не только максимального проплавления металла и лучшего формирования шва, но и также уменьшается скорость охлаждения металла сварочной ванны, что предотвращает образование горячих трещин в шве.

Колебательные движения электрода. Для получения валика нужной ширины производят поперечные колебательные движения электрода. Если перемещать электрод только вдоль оси шва без поперечных колебательных движений, то ширина валика определяется лишь сварочным током и скоростью сварки и составляет от 0,8 до 1,5 диаметра электрода. Такие узкие (ниточные) валики приме-

няют при сварке тонких листов, при наложении первого (корневого) слоя многослойного шва, при сварке по способу опирания и в других случаях.

Чаще всего применяют швы шириной от 1,5 до 4 диаметров электрода, получаемые с помощью поперечных колебательных движений электрода.

Наиболее распространенные виды поперечных движений электрода при ручной сварке: прямые по ломаной линии; полумесяцем, обращенным концами к наплавленному шву; полумесяцем, обращенным концами к направлению сварки; треугольниками; петлеобразные с задержкой в определенных местах.

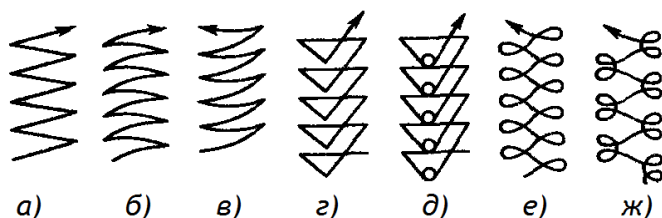


Рисунок 2.19 – Основные виды поперечных движений конца электрода, где а, б, в, г – три обычных швах; д, е, ж – при швах с усиленным прогревом кромок

Поперечные движения по ломаной линии часто применяют для получения наплавочных валиков, при сварке листов встык без скоса кромок в нижнем положении и в тех случаях, когда нет возможности прожога свариваемой детали.

Движения полумесяцем, обращенным концами к наплавленному шву, применяют для стыковых швов со скосом кромок и для угловых швов с катетом менее 6 мм, выполняемых в любом положении электродами диаметром до 4 мм.

Движения треугольником применяют при выполнении угловых швов с катетами шва более 6 мм и стыковых со скосом кромок в любом пространственном положении. В этом случае достигается хороший провар корня и удовлетворительное формирование шва.

Петлеобразные движения применяют в случаях, требующих большого прогревания металла по краям шва, главным образом при сварке листов из высоколегированных сталей. Эти стали обладают высокой текучестью и для удовлетворительного формирования шва приходится задерживать электрод на краях, с

тем, чтобы предотвратить прожог в центре шва и вытекание металла из сварочной ванны при вертикальной сварке. Петлеобразные движения можно заменить движениями полумесяцем с задержкой дуги по краям шва.

Способы заполнения шва по длине и сечению. Швы по длине выполняют напроход и обратноступенчатым способом. Сущность способа сварки напроход заключается в том, что шов выполняется от начала до конца в одном направлении. Обратноступенчатый способ состоит в том, что длинный предполагаемый к исполнению шов делят на сравнительно короткие ступени.

По способу заполнения швов по сечению различают однопроходные, однослойные швы, многопроходные многослойные и многослойные. Если число слоев равно числу проходов дугой, то такой шов называют многослойным. Если некоторые из слоев выполняются за несколько проходов, то такой шов называют многопроходным.

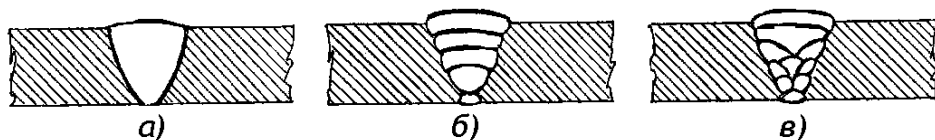


Рисунок 2.20 – Сварные швы, где 1– однослойный шов; 2 – многопроходной шов; 3– многослойный многопроходной шов

Для более равномерного нагрева металла шва по всей его длине швы выполняют двойным слоем, секциями, каскадом и блоками, причем в основу всех этих способов положен принцип обратноступенчатой сварки.

Сущность способа двойного слоя заключается в том, что наложение второго слоя производится по неостывшему первому после удаления сварочного шлака: сварка на длине 200–400 мм ведется в противоположных направлениях.

При толщине стальных листов 20–25 мм и более для предотвращения трещины применяют сварку каскадом, блоками и поперечной горкой.

Заполнение многослойного шва для сварки секциями и каскадом производится по всей свариваемой толщине на определенной длине ступени. Длина ступени подбирается такой, чтобы металл в корне шва имел температуру не менее 200 °С в процессе выполнения шва по всей толщине.

При сварке блоками многослойный шов сваривают отдельными ступенями, промежутки между ними заполняют по всей толщине слоями. Каждый участок (примерно в 1 м) желательно выполнять отдельным сварщиком. Направление слоев (проходов) на каждом участке желательно менять. Такое одновременное выполнение многопроходного шва по длине и сечению обеспечивает наиболее равномерное распределение температур, что значительно уменьшает общие остаточные деформации свариваемого изделия.

Способ сварки поперечной горкой успешно используется для соединения толстостенных труб (толщина 40 мм и более) слоями по всей толщине одновременно.

Многослойная сварка имеет перед однослойной следующие преимущества:

- Объем сварочной ванны относительно мал, в результате чего скорость остывания металла возрастает и размер зерен уменьшается.
- Химический состав металла шва близок к химическому составу наплавленного металла, так как малый сварочный ток при многослойной сварке способствует расплавлению незначительного количества основного металла.
- Каждый последующий слой шва термически обрабатывает металл предыдущего слоя, в результате чего металл шва и околошовный имеют мелкозернистое строение с повышенной пластичностью и вязкостью.

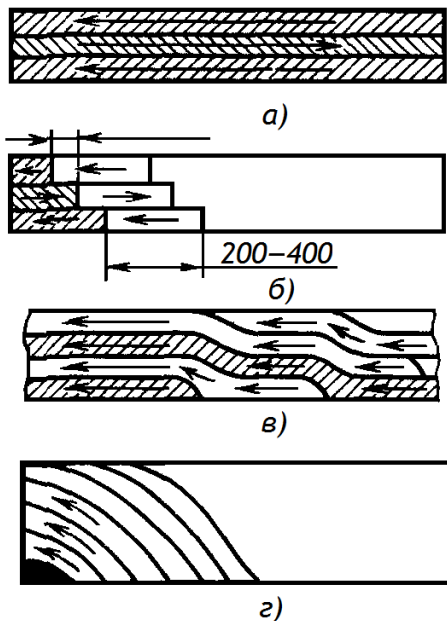


Рисунок 2.21 – Схемы заполнения шва при сварке, где а – секциями, б – каскадом, в – горкой, в - поперечной горкой.

Окончание шва. В конце шва нельзя сразу обрывать дугу и оставлять на поверхности металла шва кратер. Кратер может вызвать появление трещины в шве вследствие содержания в нем примесей, прежде всего серы и фосфора. При сварке низкоуглеродистой стали кратер заполняют электродным металлом или выводят его в сторону на основной металл. При сварке стали, склонной к образованию закалочных микроструктур, вывод кратера в сторону недопустим в виду возможности образования трещины. Не рекомендуется заваривать кратер за несколько обрывов и зажиганий дуги ввиду образования оксидных загрязнений металла. Лучшим способом окончания шва будет заполнение кратера металлом вследствие прекращения поступательного движения электрода в дугу и медленного удлинения дуги до ее обрыва.

2.5.4 Защита металла шва и электрода от воздуха при дуговой сварке

При горении дуги и плавлении свариваемого и электродного металлов требуется защита сварочной ванны от действия газов воздуха (кислорода, азота, водорода), с тем, чтобы они не проникали в жидкий металл и не ухудшали качество металла шва. Поэтому при сварке защищают зону дуги (нагреваемый электрод, саму дугу и сварочную ванну). По способу защиты металла от воздуха дуговую сварку разделяют на следующие виды: покрытыми электродами, под флюсом, порошковой проволокой, в защитном газе и др.

Покрытый электрод представляет собой металлический стержень с нанесенным на его поверхность слоем из смеси порошкообразных материалов на клеем растворе. Сварка покрытыми электродами улучшает качество металла шва, так как при расплавлении они создают шлаковую и газовую защиту сварочной ванны от вредного влияния кислорода и азота воздуха. Покрытые электроды предназначены для ручной сварки, где две обязательные операции процесса (подача электрода в зону дуги и перемещение дуги по изделию с целью образования шва) сварщик выполняет вручную. Ручной сваркой покрытыми электродами можно выполнять швы в любом пространственном положении и в труднодоступных местах.

При дуговой сварке под флюсом (см. рисунок 2.22) дуга 4 горит под порошкообразным флюсом 7, слой которого полностью закрывает дугу и место плавления металла. Электродом служит сварочная проволока 1. Флюс защищает расплавленный металл от газов воздуха и улучшает качество металла шва. Дуговая сварка под флюсом выполняется автоматами и полуавтоматами. Сварочный автомат – это аппарат, в котором подача сварочной проволоки в дугу и перемещение дуги по изделию механизированы. В сварочном полуавтомате дуга перемещается вручную, механизирована только подача проволоки в дугу. Сварочная проволока вместе с токопроводящим проводом проходит внутри гибкого шланга, поэтому полуавтоматы называются шланговыми.

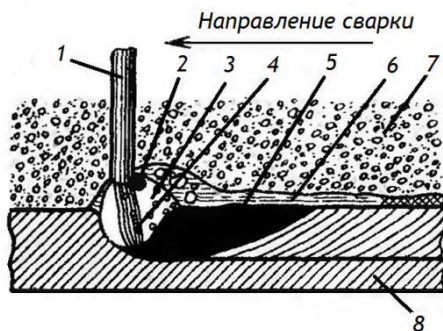


Рисунок 2.22 – Сварка под флюсом, где 1 – сварочная проволока, 2 – образующаяся капля, 3 – газовый пузырь, 4 – дуга, 5 – сварочная ванна, 6 – расплавленный флюс, 7 – нерасплавленный флюс, 8 – изделие

Для дуги, горящей под флюсом, нужны большие токи, кроме того, управление электродом вручную под флюсом сильно затруднено из-за невидимости дуги, поэтому механизированная сварка под флюсом практически заменена механизированной сваркой открытой дугой. Сварка открытой дугой выполняется порошковой проволокой, в защитном газе, самозащитной проволокой и сваркой со смешанной защитой.

Порошковая проволока представляет собой свернутую из тонкой стальной ленты оболочку, внутри которой находится порошок из смеси веществ, играющих ту же роль в повышении устойчивости сварочной дуги и улучшении качества металла шва, что и электродное покрытие или флюс.

Сварку в защитном газе проводят с подачей в зону дуги струи защитного газа. Сварка выполняется как плавящимся, так и неплавящимся электродом и может быть ручной, механизированной и автоматической. В качестве защитных газов применяют углекислый газ, аргон, гелий, иногда (для сварки меди) азот и смеси газов. Инертные газы (аргон, гелий) чаще используют для сварки легированных сталей и химически активных металлов (алюминий, титан) и их сплавов.

2.5.5 Выбор режима ручной дуговой сварки

Под режимом сварки понимают группу показателей, определяющих характер протекания процесса сварки. Эти показатели влияют на количество теплоты, вводимой в изделие при сварке. К основным показателям режима сварки относятся: диаметр электрода или сварочной проволоки, сварочный ток, напряжение на дуге и скорость сварки. Дополнительные показатели режима сварки: род и полярность тока, тип и марка покрытого электрода, угол наклона электрода, температура предварительного нагрева металла.

Выбор режима ручной дуговой сварки часто сводится к определению диаметра электрода и сварочного тока. Скорость сварки и напряжение на дуге устанавливаются самим сварщиком в зависимости от вида (типа) сварного соединения, марки стали и электрода, положения шва в пространстве и т. д.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения, типа шва и др. При сварке встык листов толщиной до 4 мм в нижнем положении диаметр электрода берется равным толщине свариваемой стали. При сварке стали большей толщины применяют электроды диаметром 4–6 мм при условии обеспечения полной возможности провара металла соединяемых деталей и правильного формирования шва.

Таблица 2.1 – Рекомендуемые диаметры электродов

Толщина металла, мм	0,5	1,0–2,0	2,0–5,0	5,0–10,0	>10,0
Диаметр электрода, мм	1,5	2,0–2,5	2,5–4,0	4,0–6,0	4,0–8,0

Применение электродов диаметром более 6 мм ограничивается вследствие большой массы электрода и электрододержателя. Кроме того, прочность

сварных соединений, выполненных электродами больших диаметров, снижается вследствие возможного непровара в корне шва и большой столбчатой макроструктуры металла шва.

В многослойных стыковых и угловых швах первый слой или проход выполняется электродом диаметром 2–4 мм; последующие слои и проходы выполняются электродом большего диаметра в зависимости от толщины металла и формы скоса кромок. Сварка в вертикальном положении выполняется обычно электродами диаметром не более 4 мм, реже 5 мм; электроды диаметром 6 мм могут применяться только сварщиками высокой квалификации.

Длина дуги существенно влияет на качество шва. При оптимальной длине дуга горит устойчиво и обеспечивает получение качественного сварного шва. Длинная дуга часто гаснет и приводит к чрезмерному разбрызгиванию металла, малая длина – к короткому замыканию. Из опытных данных длина дуги рассчитывается по формуле $l_d = 0,5(d+2)$, где d – диаметр электрода, мм. На практике длина дуги $l_d = 2–8$ мм.

Потолочные швы, как правило, выполняются электродами не более 4 мм.

Сварочный ток выбирают в зависимости от диаметра электрода. Для выбора тока можно пользоваться зависимостью: $I = K \cdot d$, где $K = 35–60$ А/мм; d – диаметр электрода, мм. Относительно малый сварочный ток ведет к неустойчивому горению дуги, непровару и малой производительности. Чрезмерно большой ток ведет к сильному нагреву электрода при сварке, увеличению скорости плавления электрода и непровару, повышенному разбрызгиванию электродного материала и ухудшению формирования шва. На величину коэффициента K влияет состав электродного покрытия: для газообразующих покрытий K берется меньше, чем для шлакообразующих покрытий, например для электродов с железным порошком в покрытии (АНО-1, ОЗС-3) сварочный ток на 30–40% больше, чем для электродов с обычными покрытиями.

При сварке с вертикальными и горизонтальными швами ток должен быть уменьшен против принятого для сварки в нижнем положении примерно на 5–10%, а для потолочных – на 10–15%, с тем чтобы жидкий металл не вытекал из сварочной ванны.

2.6 Охрана труда при ручной дуговой сварке

При выполнении сборочных и сварочных работ существуют следующие основные опасности для здоровья рабочих: поражение электрическим током, поражение лучами дуги глаз и открытых поверхностей кожи, ушибы и порезы во время подготовки изделий к сварке и во время сварки, отравление вредными газами и пылью, ожоги от разбрызгивания электродного расплавленного металла и шлака.

Поражение электрическим током.

Травма возникает при замыкании электрической цепи сварочного аппарата через тело человека. Причинами являются: недостаточная электрическая изоляция аппаратов и питающих проводов, плохое состояние спецодежды и обуви сварщика, сырость и теснота помещений и другие факторы.

В условиях сварочного производства электротравмы происходят при движении тока по одному из трех путей: рука–туловище–рука; рука–туловище–нога; обе руки–туловище–обе ноги. При движении тока по третьему пути сопротивление цепи наибольшее, следовательно, степень травматизма наименьшая. Наиболее сильное действие тока будет при движении его по первому пути. Безопасным считается напряжение 12 В, а при работе в сухих, отапливаемых и вентилируемых помещениях – 36 В.

Для защиты сварщика от поражения электрическим током необходимо надежно заземлять корпус источника питания дуги и свариваемое изделие; не использовать контур заземления в качестве сварочного провода; хорошо изолировать рукоятку электрододержателя; работать в сухой и прочной спецодежде и рукавицах (ботинки не должны иметь в подошве металлических шпилек и гвоздей); прекращать работу при дожде и сильном снегопаде (если нет укрытий); не производить ремонта оборудования и аппаратуры; при работе внутри сосудов пользоваться резиновым ковриком и переносной лампой напряжением не более 12 В.

Поражение зрения. Спектр лучистой энергии, выделяемой сварочной дугой, состоит из инфракрасных, световых и ультрафиолетовых лучей. Интенсивность излучения возрастает с повышением тока дуги. При сварке на постоянном токе интенсивность выше по сравнению со сваркой на переменном токе. Различ-

ные способы сварки по степени убывания интенсивности излучения дуги можно расположить в такой последовательности: в углекислом газе, покрытыми электродами, вольфрамовым электродом в аргоне и плазменно-дуговая.

Яркость видимой части спектра достигает $16\ 000\ \text{кд/см}^2$, что в тысячи раз превышает переносимую человеком дозу. Ультрафиолетовые лучи вызывают заболевание слизистой и иногда роговой оболочки глаз, называемое электроофтальмией, и ожог открытой кожи сварщика. Электроофтальмия начинается спустя 5–8 ч после облучения глаз. Практика изготовления сварных изделий в цехах показывает, что электроофтальмия чаще наблюдается у подсобных рабочих и сборщиков, чем у сварщиков.

Максимальная допустимая продолжительность ультрафиолетового облучения глаз, без получения для глаз болей и вреда, при сварке покрытыми электродами, шланговой сварки в углекислом газе и сварке вольфрамовым электродом в аргоне при токе дуги 200 А (постоянный ток с обратной полярностью) составляет на расстоянии 1 м соответственно 6; 13 и 45 с; на расстоянии 10 м – 10; 21 и 75 мин; на расстоянии 30 м – 1,6; 3,3 и 11,1 ч.

Защита органов зрения. Электросварщики работают со светофильтрами, которые задерживают и поглощают излучение дуги. В заводских условиях сварщики работают в изолированных кабинах. При работе на открытом воздухе сварщик должен огородить место сварки (щитами, ширмами и т. п.), учитывая, что вредные излучения дуги распространяются на 15 – 30 м и более.

Стены и потолки сварочных помещений должны окрашиваться матовой краской темных тонов, исключающей отражение лучей дуги.

Отравление вредной пылью и газами. Отравление возможно при сильном загрязнении воздуха сварочной пылью из оксидов и соединений марганца, углерода, азота, хлора, фтора и др. По существующим нормам запыленность помещения не должна превышать $10\ \text{мг/м}^3$ воздуха, содержание Mn не более $0,3\ \text{мг/м}^3$, СО не более $30\ \text{мг/м}^3$, NO не более $5\ \text{мг/м}^3$, паров свинца не более $0,1\ \text{мг/м}^3$ и т. д. Количество оксидной и вредной пыли при дуговой сварке образуется от 10 до 150 г на 1 кг расплавленных электродов.

Мероприятиями по борьбе с загрязнениями воздуха служат внедрение новых марок покрытий электродов и порошков с наименьшими токсичными свойствами; приточно-вытяжная вентиляция; устройство передвижных отсосов; приток свежего воздуха от воздухопроводов через электрододержатель или шлем; пользование респиратором с химическим фильтром, а иногда и противогазом.

Ожоги. При сварке электродный металл и шлак разбрызгиваются; горячие брызги могут попасть на незащищенную кожу сварщика или вызвать тление и прогорание одежды, а тем самым ожоги. Для защиты от ожогов сварщиков обеспечивают специальной одеждой, обувью, перчатками и головным убором. При работе рядом с легковоспламеняющимися материалами может возникнуть пожар. Опасность пожара особенно следует учитывать при работе на строительстве. Если сварочные работы проводятся наверху, то необходимо находящиеся внизу аппаратуру и любые легковоспламеняющиеся материалы защищать от падающих сверху искр. Требуется также особая осторожность при сварке в тех случаях, когда около места выполнения работ располагаются деревянные леса или имеются отходы в виде стружки, опилок и т. д. В местах сварочных работ должны находиться вода, ящик с песком, щит с инструментом и огнетушители.

Ушибы, порезы при сборке и сварке изделий. Основными причинами механических травм на производстве при сборочно-сварочных работах могут быть: отсутствие приспособлений для транспортировки и сборки тяжелых деталей; неисправные транспортные средства (тележки, краны и т. д.); неисправный и не проверенный такелаж (канаты, цепи, тросы, захваты и др.); неисправный инструмент (кувалды, молотки, зубила, ключи и т. д.); незнание и несоблюдение персоналом основных правил по такелажным работам.

При сборочно-сварочных работах чаще всего наблюдаются травмы в виде ушибов и ранений рук (от неумелого обращения с инструментом и деталями) и ног (от падения собираемых деталей). Правильно оснащенное рабочее место сварщика должно полностью обеспечить работающих от всяких механических повреждений.

3 ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

3.1 Материалы и оборудование для газовой сварки

3.1.1 Горючие газы

Кислород. Высокая температура газового пламени достигается сжиганием горючего газа или паров жидкости в кислороде.

Кислород в чистом виде при температуре 20 °С и атмосферном давлении представляет собой прозрачный газ без цвета, запаха и вкуса, несколько тяжелее воздуха. Масса 1 м³ кислорода при 20 °С и атмосферном давлении равна 1,33 кг. Кислород сжижается при нормальном давлении и температуре -182,9 °С. Жидкий кислород прозрачен и имеет голубоватый цвет. Масса 1 л жидкого кислорода равна 1,14 кг; при испарении 1 л кислорода образуется 860 л газа.

Кислород получают разложением воды электрическим током или глубоким охлаждением атмосферного воздуха.

Технический кислород выпускается трех сортов: 1-го сорта, содержащего не менее 99,7% чистого кислорода; 2-го сорта – не менее 99,5 % и 3-го сорта – не менее 99,2% (по объему). Остаток составляют азот, аргон и др.

Чистота кислорода имеет большое значение, особенно для кислородной резки. Снижение чистоты кислорода ухудшает качество обработки металлов и повышает его расход.

Сжатый кислород, соприкасаясь с маслами или жирами, окисляет их с большими скоростями, в результате чего они самовоспламеняются или взрываются. Поэтому баллоны с кислородом необходимо предохранять от загрязнения маслами.

Горючие газы. К горючим газам относят ацетилен, пропан, природный газ и др.; используют также пары керосина.

Ацетилен чаще других горючих применяется для сварки и резки; он дает наиболее высокую температуру пламени при сгорании в кислороде (3050–3150 °С). Без ущерба качества и производительности только для резки ацетилен заменяется другими горючими – пропаном, метаном, парами керосина и др.

Ацетилен взрывоопасен; находясь под давлением 0,15–0,20 МПа взрывается от электрической искры или огня, а также при быстром нагреве выше 200 °С. При температуре выше 530 °С происходит взрывчатое разложение ацетилена.

Смеси ацетилена с кислородом или воздухом при очень малом содержании ацетилена способны при атмосферном давлении взрываться. Поэтому сварщикам необходимо соблюдать обязательные правила эксплуатации газовой аппаратуры. Самовоспламенение смеси чистого ацетилена с кислородом, выходящей из сопла газовой горелки, происходит при температуре 428 °С.

В промышленности ацетилен получают тремя способами: разложением карбида кальция (CaC_2) водой, термоокислительным пиролизом (разложением) нагретого природного газа с кислородом, разложением жидких углеводородов (нефти, керосина) электрической дугой. Для сварки и резки ацетилен получают из карбида кальция. Технический карбид кальция загрязнен вредными примесями, которые переходят в ацетилен. Они ухудшают качество сварки и должны удаляться из ацетилена промывкой водой и химической очисткой.

Газы-заменители ацетилена. Пропан-бутаповая смесь представляет собой смесь пропана с 5–30% бутана. Смесь получают при добыче природных газов и при переработке нефти. Температура пропан-кислородного пламени низка и достигает 2400 °С (используется лишь для сварки стали толщиной не более 3 мм).

Низкотемпературное пламя целесообразно применять при резке, нагреве деталей для правки, огневой очистки поверхности металла, а также для сварки легкоплавких металлов. Пропан-кислородная сварка стальных листов толщиной до 3 мм по качеству не уступает ацетилено-кислородной сварке. Во всех этих случаях пропан можно заменить ацетиленом.

Для сварочных работ пропан-бутановая смесь доставляется потребителю в сжиженном состоянии. Переход смеси из жидкого состояния в газообразное происходит самопроизвольно в верхней части баллона из-за меньшей удельной массы газа по сравнению со сжиженной смесью.

Технический пропан тяжелее воздуха и имеет неприятный специфический запах.

Природный газ. Состоит в основном из метана (77–98%) и небольших количеств бутана, пропана и др. Газ почти не имеет запаха, поэтому для обнаружения его утечки в него добавляют специальные резко пахнущие вещества.

Метан-кислородное пламя имеет температуру 2100–2200 °С, которая ниже пропан-кислородного пламени, поэтому природный газ можно применять в оограниченных случаях, главным образом для термической резки.

Прочие газы и горючие жидкости. Для образования газового пламени в качестве горючего можно использовать и другие газы (водород, коксовый, нефтяной газы), горючие жидкости (керосин, бензин).

Жидкие горючие менее дефицитны, но требуют специальной тары по сравнению с газообразными. Для сварки и резки горючая жидкость преобразуется в пары пламенем наконечника горелки или резака. Температура керосино-кислородного пламени 2400–2450 °С, бензино-кислородного 2500–2600 °С. Пары жидких горючих употребляют в основном для резки и поверхностной обработки металлов.

Таблица 3.1– Характеристика горючих газов и жидкостей для сварки и резки

Наименование горючего:	Температура пламени при сгорании горючего и кислороде, °С	Масса 1 м ³ горючего при 20°С и нормальном давлении, кг	Коэффициент ацетилен	Количество кислорода, подаваемого в горелку на 1 м ³ горючего, м ³
Газ:				
ацетилен	3050–3150	1,09	1,0	1,0–1,3
водород	2000–2100	0,084	5,2	0,3–0,4
пиролизный	2300	0,65–0,85	1,6	1,2–1,5
нефтяной	2300	0,65–1,45	1,2	1,5–1,6
пропан технический	2400–2500	1,90	0,6	3,4–3,8
природный	2100–2200	0,7–0,9	1,6–1,8	1,5–2,0
коксовый	2000	0,4–0,5	3,2–4,0	0,6–0,8
сланцевый	2000	0,7–0,9	4,0	0,7
Пары керосина	2400–2450	800–840*	1,0–1,3	1,7–2,4 на 1 кг
Пары бензина	2500–2600	700–760	1,4	1,1–1,4 на 1 кг

* Для керосина и бензина приведена масса 1 м³ жидкости

3.1.2 Ацетиленовые генераторы. Предохранительные затворы

Ацетиленовым генератором называется аппарат, служащий для получения ацетилена разложением карбида кальция водой. Ацетиленовые генераторы, применяемые для сварки и резки металлов согласно ГОСТ 5190–78, классифицируются по следующим признакам:

- по производительности – 1,25; 3; 5; 10; 20; 40; 80; 160; 320; 640 м³/ч;
- по способу применения – передвижные с производительностью 1,25–3 м³/ч, стационарные с производительностью 5–640 м³/ч;
- по давлению вырабатываемого ацетилена – низкого давления до 0,02 МПа, среднего давления от 0,02 до 0,15 МПа;

По способу взаимодействия карбида кальция с водой

- генераторы системы КВ («карбид в воду»), в которых разложение карбида кальция, осуществляется при подаче определенного количества карбида кальция в воду, находящуюся в реакционном пространстве;
- генераторы системы ВК («вода на карбид»), в которых разложение карбида кальция происходит при подаче определенного количества воды в реакционное пространство, где находится карбид кальция;
- генераторы системы ВВ («вытеснение воды»), в которых разложение карбида кальция осуществляется при соприкосновении его с водой в зависимости от изменения уровня воды, находящейся в реакционном пространстве и вытесняемой образующимся газом.

Все ацетиленовые генераторы, независимо от их системы, имеют следующие основные части: газообразователь, газосборник, предохранительный затвор, автоматическую регулировку вырабатываемого ацетилена в зависимости от его потребления.

На корпусе генератора прикрепляется табличка со следующими данными: марка, заводской номер и под выпуска генератора; производительность (м³/ч); рабочее давление (МПа); единовременная загрузка карбида (кг); пределы температур, в которых может работать ацетиленовый генератор.

Ацетиленовые генераторы системы КВ обладают высоким коэффициентом использования карбида кальция, обеспечивают наилучшие условия его разложения, хорошее охлаждение и промывку газа. Недостатками генераторов системы КВ являются значительный расход воды, что обуславливает увеличенные габариты генераторов и большое количество отходов. Данная система нашла применение для стационарных генераторов большой производительности.

Ацетиленовые генераторы системы ВК проще по конструкции, требуют небольшого количества воды, способны работать на карбиде с различной грануляцией. Данную систему применяют преимущественно для передвижных аппаратов с производительностью ацетилена до 3 м³/ч. Недостатки генераторов этой системы – возможность перегрева ацетилена в зоне реакции и неполное разложение карбида кальция.

Ацетиленовые генераторы системы ВВ надежны в эксплуатации и удобны в обращении. Эта система нашла применение в передвижных аппаратах низкого и среднего давления производительностью не выше 10 м³/ч. Недостатком генераторов этой системы является возможность его перегрева при прекращении отбора газа.

Основные требования к ацетиленовым генераторам:

1. Температура окружающей среды, при которой допускается работа ацетиленовых стационарных генераторов, от +5 до -35°C, передвижных – от -25 до +40°C.
2. Производительность генератора должна соответствовать расходу ацетилена.
3. Разложение карбида кальция в генераторе должно регулироваться автоматически в зависимости от расхода газа.
4. В генераторе не должно быть деталей и арматуры из сплавов, содержащих более 70% меди, а также устройств, способных вызвать при работе образование искр.
5. Коэффициент использования карбида кальция (КПИ) должен быть не меньше 0,85.

6. Генератор должен быть рассчитан на работу с определенной грануляцией карбида кальция.

7. Генератор должен быть герметичным и иметь газосборник достаточной емкости, чтобы при прекращении отбора газа не происходил выброс ацетилена в помещение.

8. В генераторах должна быть предусмотрена продувка всех объемов до заполнения их ацетиленом для удаления остатков воздуха.

9. Конструкция генератора должна обеспечивать хорошее охлаждение в зоне реакции, чтобы температура воды и гашеной извести в зоне реакции не превышала 80 °С, а ацетилена 115 °С.

10. Габариты и масса передвижных генераторов должны быть минимальными.

Предохранительные затворы. При работе с газовым пламенем могут возникать обратный удары, т. е. проникновение взрывной волны и пламени в трубопроводы и шланги, подводящие горючие газы. Иногда удар происходит с большой скоростью и может проникнуть в ацетиленовый генератор, что приведет к его взрыву. Предохранительный затвор препятствует попаданию в генератор пламени при обратном ударе.

Предохранительные затворы делятся на сухие и жидкостные. Наибольшее распространение получили жидкостные (главным образом водяные) предохранительные затворы. Они бывают открытого типа (для генератора низкого давления) и закрытого типа (для генераторов среднего давления).

Действие водяных затворов открытого и закрытого типов основано на том, что взрывная волна и пламя, движущиеся навстречу потоку горючего газа, выводятся в атмосферу или гасятся внутри затвора.

Предохранительный затвор открытого типа представлен схемой на рисунке 3.1, а. Перед работой в затвор через воронку 5 наливается вода до уровня контрольного крана 7. По газоподводящей трубке 2 ацетилен проходит вниз, выходит через отверстие, рассекается диском 8, проходит через слой воды и выходит из ниппеля 6. При обратном ударе взрывная волна попадает из ниппеля 6 в

газовое пространство затвора, давит на воду и вместе с частью воды уходит в атмосферу через зазор между газоподводящей 2 и предохранительной 3 трубами.

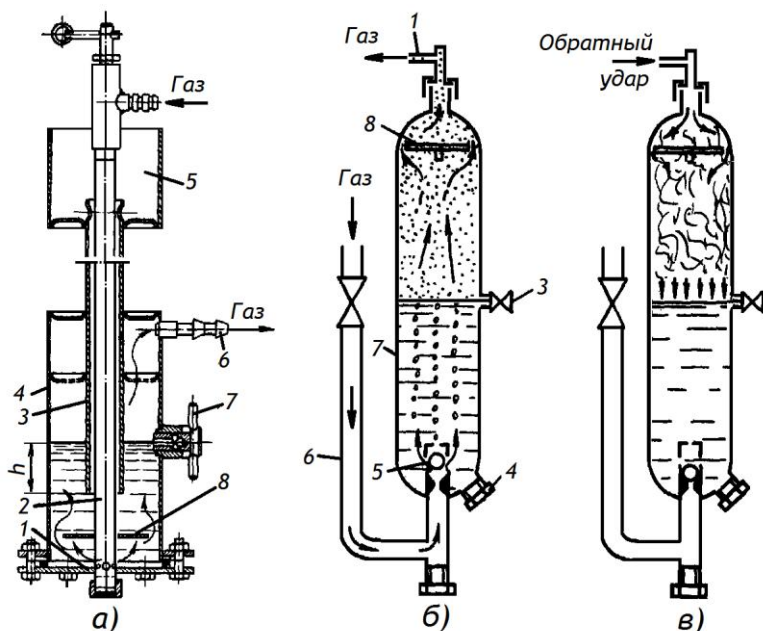


Рисунок 3.1 – Водяные затворы, где а – низкого давления открытого типа; б – среднего давления закрытого типа в нормальной работе; в – при обратном ударе

В трубу 2 взрывная волна проникнуть не может, так как она заполняется водой, а взрывная волна беспрепятственно проходит в атмосферу, как только освободится от воды нижний конец предохранительной, трубы 3. Для того чтобы нижний конец предохранительной трубы 3 при обратном ударе быстрее освободился от воды, необходим слой воды 7. Поэтому затвор и заполняется водой до уровня контрольного крана. Днище 1 привернуто к корпусу 4, чтобы можно было периодически чистить затвор.

Предохранительный водяной затвор закрытого типа представлен схемой на рисунке 3.1, б. Затвор через наливной штуцер 2 заливают водой до уровня контрольного крана 3. При нормальной работе ацетилен проходит по трубке 6

через обратный клапан 5, приподнимая шарик, в корпус 7 через слой воды и через ниппель 1 к сварочной горелке.

При обратном ударе взрывная волна давит на воду, обратный клапан 5 закрывается и преграждает доступ воде и взрывной волне в газоподводящую трубку 6. Одновременно взрывная волна гасится, проходя узкий зазор между стенкой корпуса затвора и диском-отражателем 8. После каждого обратного удара надо проверять уровень воды в затворе и в случае надобности доливать его водой. Слив воды из затвора производится через штуцер 4.

Для газов-заменителей ацетилена применяются водяные затворы только закрытого типа или обратные предохранительные клапаны. Обратные клапаны устанавливаются после редуктора у газового баллона или непосредственно в сети перед горелкой при разводке газа по сварочным постам трубопроводами.

Применяются обратные клапаны трех типов, различные по конструкции: с разрывной мембраной при выбросе горючей смеси в атмосферу; с выбросом горючей смеси (безмембранные); обеспечивающие подачу пламегасящего газа (воздуха или азота) при обратном ударе пламени и одновременное, преграждение подачи газов к горелке.

На рисунке 4.2 приведено устройство шлангового обратного клапана с выбросом горючей смеси в атмосферу, который устанавливается у газоподводящих штуцеров горелки (резака). В корпусе 1 размещен пористый металлический фильтр 4 и выпускной клапан 5 с несгораемым уплотнителем 6. Клапан присоединяется к штуцеру горелки с помощью накидной гайки 8 и ниппеля 7. При нормальной работе газ поступает в направлении стрелки А. При обратном ударе газовая смесь движется по стрелке, часть ее выбрасывается через клапан 5, пламя гасится в фильтре 4, а дисковый клапан 2 перекрывает доступ газов в рукав между дисковым клапаном 2 и пористым металлическим фильтром 4; для жесткости поставлена медная сетка 3.

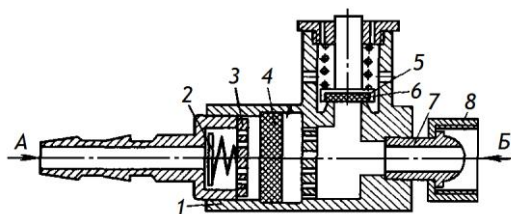


Рисунок 3.2 – Шланговый обратный клапан

3.1.3 Баллоны для хранения горючих газов

Баллоны различаются по вместимости, конструктивным особенностям, окраске. Наиболее распространены баллоны вместимостью 40 дм³.

Кислородный баллон окрашивают в голубой цвет, ацетиленовый – в белый, баллон для аргона – в серый, для углекислого газа и воздуха – в черный, водорода – в темно-зеленый, для прочих горючих газов – в красный цвет.

На верхней сферической части баллона оставляют неокрашенным место, на котором выбивают паспортные данные баллона: товарный знак завода-изготовителя, номер баллона, массу порожнего баллона, дату изготовления, год следующего испытания, рабочее и испытательное давление, вместимость, клеймо ОТК. Испытания проводят через каждые пять лет эксплуатации.

Кислород наполняется в баллоны до давления 15 МПа. Определить количество кислорода в переводе на атмосферное давление можно умножением емкости баллона на давление газа в нем (по показанию манометра). Баллон вместимостью 40 дм³ при давлении газа 15 МПа содержит кислорода $40 \times 150 = 6000$ дм³, или 6 м³.

Полностью выпускать кислород из баллона нельзя, так как на заводе, где наполняют баллоны кислородом, бывает необходимость проверки состава газа, находившегося в баллоне.

Ацетиленовые баллоны заполнены пористой массой (древесный уголь, пемза, инфузорная земля и др.), образующей микрообласти, необходимые для безопасного хранения ацетилена под давлением. Микрообласти заполняются ацетоном, растворяющим ацетилен. Один объем ацетона растворяет при нормальной температуре и давлении в 23 объема ацетилена. Давление растворенного ацетилена в наполненном баллоне не должно превышать 1,9 МПа при 20 °С.

Ацетиленовые баллоны при работе всегда должны находиться в вертикальном положении.

Баллоны для сжиженного газа пропана изготавливают сварными из углеродистой стали СтЗ вместимостью 27; 50; 80 дм³ с толщиной стенки 3 мм. Предельное рабочее давление в баллоне с пропаном не должно превышать 0,16 МПа. Баллон наполняется с таким расчетом, чтобы над жидкостью была паровая по-

душка для заполнения ее расширившимся сжиженным газом при повышении температуры.

Вентиль – это запорное устройство, которое позволяет сохранить в баллоне сжатый или сжиженный газ. Назначение и принцип действия всех баллонных вентилях одинаковы. Каждый вентиль имеет шпindel, который перемещается при вращении маховичка, открывая или закрывая клапан. Хвостовик вентиля имеет коническую резьбу.

Вентиль кислородного баллона изготавливается из латуни, обладающей коррозионной стойкостью при работе в среде кислорода. Редуктор присоединяется к вентилю накидной гайкой с правой резьбой. Кислородный вентиль не должен быть загрязнен, особенно жирами и маслами. Кислородные вентили пригодны для баллонов с азотом, аргонem, сжатым воздухом и углекислотой.

Ацетиленовый вентиль изготавливается из стали, так как медные сплавы с содержанием более 70% меди при длительном соприкосновении с ацетиленом образуют взрывчатое соединение – ацетилепистую медь. Ацетиленовый редуктор присоединяется к вентилю хомутом, а открывание и закрывание вентиля выполняется специальным торцовым ключом.

Вентиль для пропанового баллона по конструкции подобен кислородному, но в отличие от него редуктор присоединяется накидной гайкой с левой резьбой.

Вентили имеют различную резьбу хвостовиков, что исключает возможность установки на баллон не соответствующего ему вентиля.

3.1.4 Редукторы для сжатых газов. Рукава (шланги)

Редукторы служат для понижения давления газа, отбираемого из баллона, и автоматического поддержания рабочего давления постоянным, независимо от падения давления газа в баллоне. Согласно ГОСТ 6268 постовые редукторы выпускают на рабочее давление газа перед горелкой или резаком: для кислорода – от 0,5 до 15 кгс/см², для ацетилена – от 0,01 до 1,5 кгс/см². Существует много конструкций редукторов, но принцип действия и основные детали их примерно одинаковы.

Схема устройства и работы редуктора показана на рисунке 3.3.

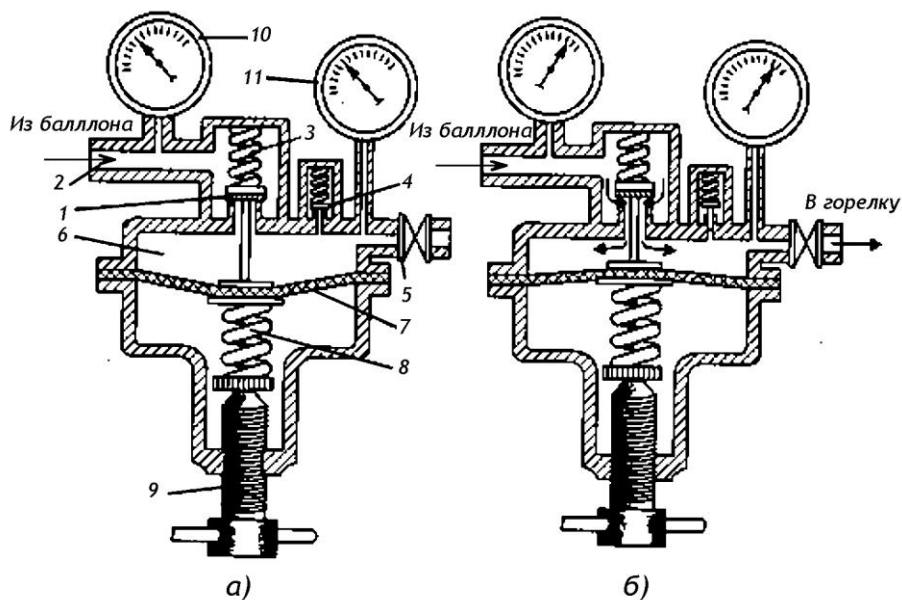


Рисунок 3.3 – Схема устройства и работы редуктора, где а – газ не идет через редуктор; б – газ проходит через редуктор

Сжатый газ из баллона поступает в камеру высокого давления 2. Давление перед редуктором определяется по манометру 10. Далее газ проходит через клапан 1, преодолевая значительное сопротивление, вследствие чего давление газа за клапаном становится ниже. Пройдя клапан, газ поступает в камеру низкого давления 6. Давление в камере определяется по манометру 11. Из камеры низкого давления газ через вентиль 5 подается в горелку.

Мембрана (пластина из резины с прокладками из ткани) 7, регулирующий винт 9 и пружины 8 и 3 служат для регулирования положения клапана 1, от степени открытия которого зависит рабочее давление газа после редуктора. Чем больше открыт клапан, тем выше рабочее давление газа и тем большее количество газа будет проходить через редуктор. При ввертывании винта 9 сжимаются пружины 8 и 3, открывается клапан 1 и давление в камере 6 повышается. При вывертывании винта 9, наоборот, клапан 1 прикрывается, а давление газа в камере 6 уменьшается.

Установленное рабочее давление в редукторе автоматически поддерживается постоянным. При уменьшении количества отбираемого газа его давление начнет возрастать и в камере низкого давления 6 газ будет с большей силой давить на мембрану 7, которая отойдет вниз и сожмет пружину 8.

При этом пружина 4 прикроет клапан 11 и будет держать его в таком положении до тех пор, пока давление в камере 10 не станет вновь равным его первоначальной величине. Обратное явление наблюдается при понижении рабочего давления в камере 6. Предохранительный клапан 4 защитит мембрану от разрыва в случае, если клапан 1 начнет пропускать газ.

По конструкции редукторы бывают однокамерные и двухкамерные. В двухкамерных (двухступенчатых) редукторах давление понижается в две ступени: в первой ступени с начального в 150 кгс/см^2 до промежуточного $40\text{--}50 \text{ кгс/см}^2$, а во второй ступени – до конечного рабочего давления $3\text{--}15 \text{ кгс/см}^2$. Двухступенчатые редукторы обеспечивают практически постоянное рабочее давление газа, не изменяющееся при понижении давления в баллоне по мере расхода из него газа. Двухкамерные редукторы менее склонны к «замерзанию», однако они сложнее по конструкции, чем однокамерные, и требуют для своего изготовления больше цветного металла, а поэтому и более дороги.

Ацетиленовый редуктор по принципу действия и конструктивному оформлению подобен кислородному. Отличие состоит в том, что для присоединения к вентилю баллона у ацетиленовых редукторов вместо накидной гайки имеется специальный хомут с нажимным винтом. Кислородные редукторы окрашивают в голубой цвет, ацетиленовые – в белый.

Редукторы для других горючих газов присоединяются к штуцеру вентиля баллона накидной гайкой с левой трубной резьбой $1/2"$ и окрашиваются в красный цвет.

ГОСТ 6268 устанавливает 18 типов редукторов. Буквы в обозначении редуктора указывают: Б – баллонные, Р – рамповые, С – сетевые, А – ацетиленовые, К – кислородные, М – метановые, П – пропан-бутановые, О – одноступенчатые, Д – двухступенчатые, У – с пневматической установкой давления от специальных управляющих редукторов, цифры – наибольший расход газов $\text{м}^3/\text{ч}$ при

максимальном рабочем давлении. Низший расход газа соответствует минимальному рабочему давлению.

Рукава (шланги). Шланги служат для подвода газа в горелку или резак. Они должны выдерживать давление газа, быть гибкими и не стеснять движений сварщика. Шланги изготавливают из вулканизированной резины с одной или двумя тканевыми прокладками. Шланги предназначены для работы при наружной температуре от +50 до -35° С. Для более низкой температуры изготавливают шланги по особым ТУ, неокрашенные из морозостойкой резины. Например, резина марки 14К-10 по МРТУ38-5-11-66-64 выдерживает температуру до -65° С.

По ГОСТ 9356 рукава, в зависимости от назначения и условий работы, изготавливаются следующих трех типов: тип I – для ацетилена и городского газа на рабочее давление не более 6 кгс/см², тип II – для жидкого топлива (бензин, керосин) на рабочее давление не более 6 кгс/см², тип III – для кислорода на рабочее давление не более 15 кгс/см². Для малых горелок применяют рукава с внутренним диаметром 6 мм, для горелок и резаков нормальной и повышенной мощности – рукава с внутренним диаметром 9, 12 и 16 мм. Рукава всех типов должны выдерживать гидравлическое испытание на давление, на 25% превышающее максимальное рабочее (типы I и II – на 7,5 кгс/см², тип III – на 18,75 кгс/см²).

Запас прочности рукавов типов I и II должен быть не менее, чем четырехкратный, а типа III – не менее, чем трехкратный по отношению к рабочему давлению. Рукава типа II должны быть изготовлены из бензостойкой резины. Все рукава должны иметь цветной наружный слой: для кислорода – синий, ацетилена – красный, жидкого топлива – желтый. Чтобы сварщик мог свободно работать, длина каждого шланга берется от 8 до 20 м. Но при длине более 20 м слишком сильно возрастают потери давления в шлангах.

3.1.5 Сварочные горелки

Горелки разделяются на инжекторные и безынжекторные, однопламенные и многопламенные, для газообразных горючих (ацетиленовые и др.) и жидких (пары керосина). Наибольшее применение имеют инжекторные горелки, работающие на смеси ацетилена с кислородом.

Схема и принцип работы инжекторной горелки. Горелка состоит из двух основных частей – ствола и наконечника (см. рисунок 3.4). Ствол имеет кислородный 1 и ацетиленовый 16 ниппели с трубками 3 и 15, рукоятку 2, корпус 4 с кислородным 5 и ацетиленовым 14 вентилями. С правой стороны горелки (если смотреть по направлению течения газов) находится кислородный вентиль 5, а с левой – ацетиленовый вентиль 14. Вентили служат для пуска, регулирования расхода и прекращения подачи газа при гашении пламени. Наконечник, состоящий из инжектора 13, смесительной камеры 12 и мундштука 7, присоединяется к корпусу ствола горелки накидной гайкой.

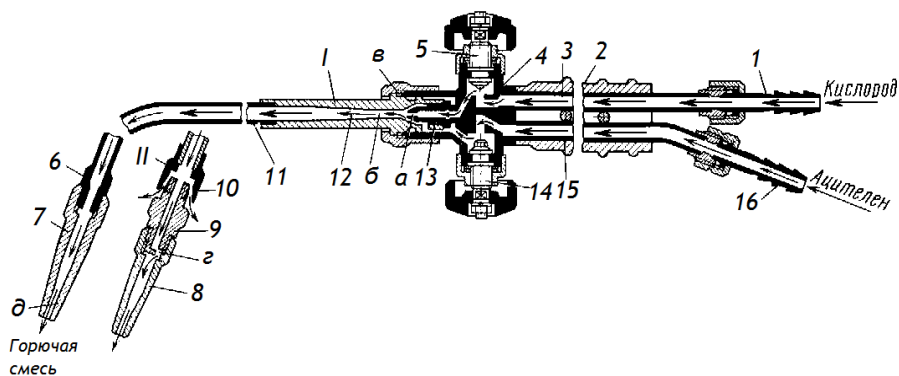


Рисунок 3.4 – Устройство инжекторной горелки, где 1, 16 – кислородный и ацетиленовый ниппели, 2 – рукоятка, 3, 15 – кислородная и ацетиленовая трубки. 4 – корпус. 5, 14 – кислородный и ацетиленовый вентили, 6 – ниппель наконечника, 7 – мундштук, 8 – мундштук для пропан-бутан-кислородной смеси, 9 – штуцер, 10 – подогреватель, 11 – трубка горючей смеси, 12 – смесительная камера, 13 – инжектор; а, б – диаметры выходного канала инжектора смесительной камеры, в – размер зазора между инжектором и смесительной камерой, г – боковые отверстия в штуцере 9 для нагрева смеси, д – диаметр отверстия мундштука

Инжектор 13 представляет собой цилиндрическую деталь с центральным каналом малого диаметра – для кислорода и периферийными, радиально расположенными каналами – для ацетилена. Инжектор ввертывается в смесительную камеру наконечника и находится в собранной горелке между смесительной камерой и газоподводящими каналами корпуса горелки. Его назначение состоит в

том, чтобы кислородной струей создавать разреженное состояние и засасывать ацетилен, поступающий под давлением не ниже 1 кПа. Разрежение за инжектором достигается высокой скоростью (порядка 300 м/с) кислородной струи. Давление кислорода, поступающего через вентиль 5, составляет от 0,05 до 0,4 МПа.

Инжекторное устройство показано на рисунке 3.5. В смесительной камере кислород перемешивается с ацетиленом, и смесь поступает в канал мундштука. Горючая смесь, выходящая из мундштука со скоростью 100–140 м/с, при зажигании горит, образуя ацетилено-кислородное пламя с температурой до 3150°C.

В комплект горелки входит несколько номеров наконечников. Для каждого номера наконечника установлены размеры каналов инжектора и размеры мундштука. В соответствии с этим изменяется расход кислорода и ацетилена при сварке.

Конструкция пропан-бутан-кислородных горелок отличается от ацетилено-кислородных горелок тем, что перед мундштуком имеется устройство 10 (см. рисунок 3.4) для подогрева пропан-бутан-кислородной смеси. Дополнительный нагрев необходим для повышения температуры пламени. Обычный мундштук заменяется мундштуком измененной конструкции.

Безынжекторные горелки работают под одинаковым давлением кислорода и ацетилена, равным от 0,01 до 0,08 МПа. Горелки обеспечивают более постоянный состав горючей смеси в процессе работы. Безынжекторные горелки можно питать ацетиленом от баллонов либо от генераторов среднего давления.

Специальные горелки иногда целесообразно применять для газопламенной обработки материалов. Промышленность выпускает горелки для нагрева металла с целью термической обработки, удаления краски, ржавчины; горелки

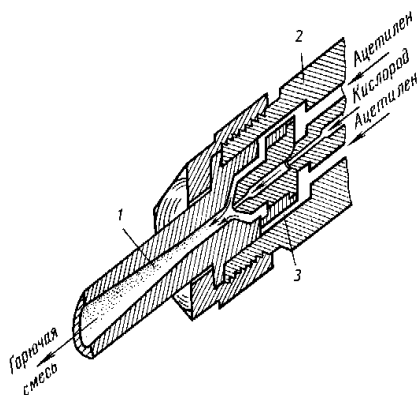


Рисунок 3.5 – Инжекторное устройство, где 1 – смесительная камера, 2 – инжектор, 3 – корпус горелки

для пайки, сварки термопластов; пламенной наплавки и др. Принципиальное устройство специальных горелок во многом аналогично горелке, используемой для сварки металлов. Отличие состоит в форме и размерах мундштуков, а также в тепловой мощности, форме и размерах пламени. Специальные горелки выпускают для любого горючего газа.

3.2 Сварочное пламя

Ацетилено-кислородное пламя обладает наиболее высокой температурой по сравнению с пламенем любого другого газа. В пламени можно различить три зоны: ядро, среднюю восстановительную зону и факел – окислительную зону. Ядро представляет собой механическую смесь сильно нагретого кислорода и диссоциированного (разложенного) ацетилена.

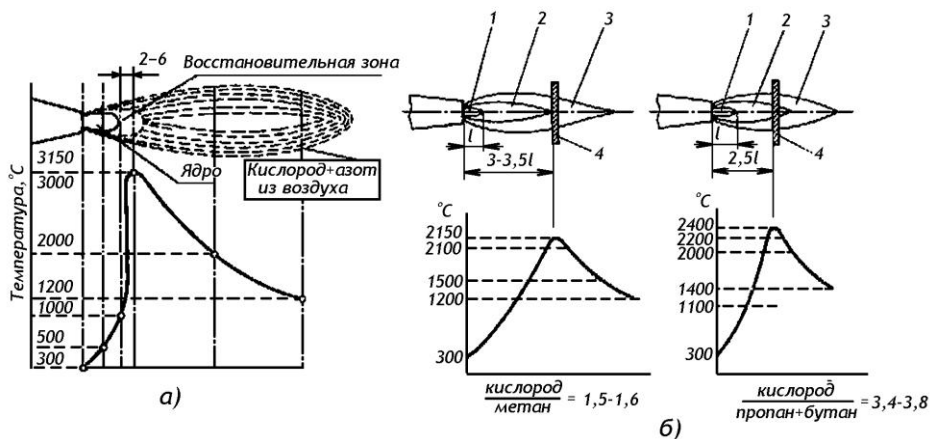


Рисунок 3.6 – Структура ацетилено-кислородного пламени и распределение температур, где а – нормальное ацетилено-кислородное пламя, б – схемы и графики изменения температур метан-кислородного и пропан-бутан-кислородного пламени; 1 – ядро, 2 – восстановительная зона, 3 – факел, 4 – свариваемый металл, l – длина ядра

Ядро выделяется резкими очертаниями и ярким свечением. Горение начинается на внешней оболочке ядра и продолжается во второй зоне; углерод сгорает не полностью. Водород, как имеющий меньшее сродство к кислороду по

сравнению с углеродом, в этой зоне не окисляется. Полностью сгорает углерод и горит водород в третьей зоне пламени за счет кислорода воздуха.

Для полного сгорания одного объема ацетилена требуется два с половиной объема кислорода; один объем поступает из кислородного баллона и полтора объема – из воздуха.

Распределение температуры по оси ацетилено-кислородного пламени показано на рисунке 3.6, а. Максимальная температура пламени, достигающая 3050–3150 °С, находится на расстоянии 2–6 мм от конца ядра. При увеличении расхода ацетилена и кислорода это расстояние приближается к максимальному. Измерение длины ядра в зависимости от расходов газов видно из рисунке 3.6, б. Схемы и графики изменения температур метан-кислородного и пропан-бутан-кислородного пламени даны на рисунке 3.6, в.

Виды пламени. В зависимости от объемного соотношения подаваемых в горелку газов пламя может быть науглероживающим ($O_2/C_2H_2 = 1$), окислительным ($O_2/C_2H_2=1,3$) и нормальным ($O_2/C_2H_2=1-1,1$).

Состояние мундштука также оказывает влияние на форму пламени. Для сварки низкоуглеродистой стали применяют нормальное пламя, при сварке чугунов – науглероживающее и при сварке алюминия – нормальное или с небольшим избытком ацетилена.

Сварочное пламя должно иметь значительную тепловую мощность, т. е. вводить в зону сварки достаточное количество теплоты, чтобы расплавить основной и присадочные материалы, поддерживать ванну в расплавленном состоянии и возмещать потери теплоты в окружающую атмосферу. Тепловая мощность пламени определяется расходом ($dm^3/ч$) в горелке ацетилена. Практически температура пламени должна быть на 250–300 °С больше температуры плавления металла. Например, если температура ацетилено-кислородного пламени равна 3100 °С, а температура плавления стали порядка 1500 °С, то разница составит 3100–(1500+ 300) = 1300 °С.

Для пропан-кислородного пламени разница составит 2500–(1500+300)= 700 °С. Это означает, что для сварки пропан-кислородным пламенем одинакового количества стали потребуется количества теплоты в 1,85 (1300/700) раза

больше, чем при сварке ацетилено-кислородным пламенем; соответственно для чугуна (температура плавления равна 1200 °С) – в 1,6 и для латуни (температура плавления равна 900 °С) – в 1,46 раза.

Количество вводимой теплоты в единицу времени, т. е. эффективная мощность пламени зависит от расхода горючего газа, угла наклона пламени к поверхности металла, скорости его перемещения и соотношения содержания горючего газа и кислорода. Например, пламя с избытком кислорода (окислительное) имеет более высокую температуру, чем науглероживающее.

3.3 Металлургические процессы при газовой сварке

В отличие от дуговой газовой сварка происходит с более низкими скоростями нагрева и охлаждения металла шва и сварного соединения, что способствует слиянию мелких зерен в крупные и более длительному протеканию химических реакций в сварочной ванне и между расплавленным металлом и газами сварочного пламени.

При избытке в пламени кислорода происходят интенсивные реакции окисления железа, кремния, марганца, углерода и других элементов, входящих в состав стали. Железо окисляется по реакции $\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{FeO}$, образуя низший оксид (закись) железа, который способен растворяться в железе в значительном количестве. Образующийся низший оксид железа FeO окисляет находящиеся в растворенном состоянии кремний и марганец, а также углерод, содержащийся в соединении Fe₃C.

Оксиды MnO, SiO₂ могут оставаться в металле шва при его охлаждении или в лучшем случае всплывать наверх и переходить в сварочный шлак.

При уменьшении в сварочной ванне кремния, марганца и углерода удаление растворенного оксида железа FeO может приостановиться, а избыток кислорода (в виде низшего оксида железа) в наплавленном металле поведет к ухудшению его механических свойств. Особенно понижается вязкость металла шва, поэтому соединения выполненные газовым пламенем с избытком кислорода, не могут работать длительное время на циклическую нагрузку. Другим недос-

татком применения окислительного пламени является разбрызгивание металла при сварке из-за выхода из сварочной ванны образовавшегося газа CO.

При сварке нормальным пламенем сварочная ванна и присадочный металл контактируют с газами CO и H₂, образующимися во второй зоне пламени. Оксид углерода CO не успевает химически взаимодействовать с элементами стали ввиду ее малого количества.

Низкоуглеродистые стали при сварке нормальным ацетиленокислородным пламенем не ухудшают механических свойств под влиянием газов CO и H₂ в тех случаях, когда скорости охлаждения металла шва низкие.

Большую опасность водород, образующийся в пламени, представляет при сварке меди, алюминия и некоторых высоколегированных сталей, вызывая «водородную болезнь» (растрескивание) и пористость шва. Для сварки этих металлов требуется соблюдать соответствующие условия.

При сварке науглероживающим пламенем сварочная ванна контактирует с газами CO, H₂ и углеродом C. В этом случае как газ CO, так и твердый углерод C реагируют с железом, образуя карбиды железа по реакции $3\text{Fe} + \text{C} = \text{Fe}_3\text{C}$ и $3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$, т. е. происходит науглероживание металла шва.

Особенно рекомендуется применять науглероживающее пламя при сварке чугунов. При газовой сварке околошовный металл изменяет свою микроструктуру на ширине от 8 до 25 мм в обе стороны от шва.

3.4 Основы технологии газовой сварки низкоуглеродистой стали

Недостатки газовой сварки перед дуговой заключаются в том, что газовая сварка выполняется при низких скоростях нагрева и охлаждения металла, что приводит к укрупнению зерен околошовного металла, низкой прочности сварного соединения и большим деформациям сварного изделия. Кроме того, стоимость газовой сварки стальных листов толщиной 2 мм и более выше стоимости дуговой сварки покрытыми электродами.

Производительность газовой сварки изделий из стали толщиной до 1,5 мм в 1,5 раза выше по сравнению с дуговой сваркой покрытыми электродами;

при толщине выше 2 мм – уступает ей. Поэтому газовая сварка почти полностью вытеснена электрической (дуговой, контактной, электронно-лучевой и др.).

В настоящее время газовая сварка находит применение при ремонте литых изделий из чугунов и иногда цветных металлов, исправлении дефектного литья, при монтаже сантехнических тонкостенных стальных узлов толщиной до 2 мм, наплавке, сварке легкоплавких металлов и др. Газовое пламя применяют при пайке, для подогрева с целью термической обработки металла, очистки от ржавчины и др.

По любому виду прочности, пластичности и вязкости металла шва и сварных соединений, выполненных из сталей, газовая сварка уступает дуговой независимо от толщины свариваемого металла. Она может конкурировать с дуговой сваркой в основном при сварке чугунов, латуни и иногда легкоплавких металлов подобно свинцу.

Техника газовой сварки. При левой сварке (рисунок 3.7, а) перемещение горелки производится справа налево, а при правой (рисунок 3.7, б) – слева направо. В первом случае присадочная проволока находится перед пламенем горелки, во втором – сзади него. При левом способе пламя направлено на несваренную часть шва; для более равномерного прогрева кромок и лучшего перемешивания металла сварочной ванны производятся зигзагообразные движения наконечника и проволоки.

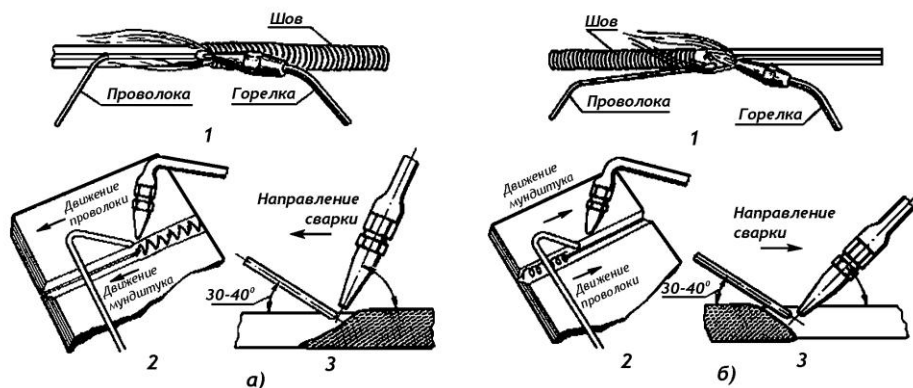


Рисунок 3.7 – Способы сварки, где 1 – момент сварки, 2 – схемы движения мундштука и проволоки, 3 углы наклона мундштука и проволоки

Левая сварка обеспечивает более равномерную высоту и ширину шва в сварном соединении, наибольшую производительность и меньшую стоимость при сварке листов толщиной до 5 мм. Это объясняется тем, что пламя предварительно подогревает основной металл, подлежащий сварке. Кроме того, левая сварка проще по выполнению и не требует от сварщика приобретения больших навыков.

Левую сварку применяют также для легкоплавких металлов. Для сварки сталей при левом способе мощность пламени устанавливается 100–120 дм³ ацетилена/ч на 1 мм толщины свариваемого металла. Повышение скорости при левой сварке по сравнению с правой может происходить лишь до тех пор, пока поглощение теплоты изделием (потери) незначительно, а это возможно только при сварке тонких листов.

При толщине листов более 5 мм левая сварка по скорости уступает правой. При правой сварке нагрев в сварочной ванне более интенсивен, в сварочную ванну вводится больше теплоты, ядро пламени можно приблизить к поверхности ванны. Кроме того, пламя подогревает уже наплавленный металл, этот нагрев распространяется на незначительное расстояние от сварочной ванны, следовательно, происходит термическая обработка металла шва и околошовного металла.

Колебательных движений мундштука при правом способе обычно не делают, а присадочной проволокой выполняют спиральные движения, но с меньшей амплитудой, чем при левой сварке.

Мощность пламени для сварки стали правым способом устанавливается 120–150 дм³ ацетилена/ч на 1 мм толщины свариваемого металла.

Положение горелки и присадочной проволоки при газовой сварке. Пламя горелки направляют на металл изделия так, чтобы кромки свариваемых частей находились в восстановительной зоне пламени на расстоянии 2–6 мм от конца ядра. Касаться концом ядра металла изделия и присадочного прутка нельзя. Это вызовет науглероживание металла ванны и будет способствовать возникновению иоиков и обратных ударов пламени.

Скорость нагрева металла при газовой сварке можно регулировать наклоном мундштука горелки по отношению к поверхности металла. С увеличением толщины металла угол наклона мундштука горелки к вертикали возрастает.

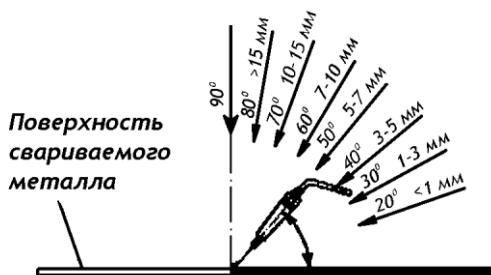


Рисунок 3.10 – Зависимость угла наклона мундштука от толщины свариваемого металла

Угол наклона присадочной проволоки к поверхности металла обычно составляет 30–40° и может изменяться сварщиком в зависимости от положения шва в пространстве, числа слоев многослойного шва и др.


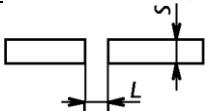
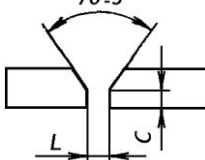
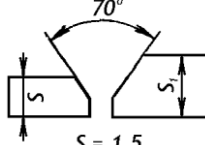
Как правило, конец присадочной проволоки должен постоянно находиться в сварочной ванне, защищенной от окружающего воздуха газами восстановительной зоны пламени. Пользоваться для образования шва, так называемым, капельным процессом сварки, когда проволоку опускают периодически в сварочную ванну, не рекомендуется из-за опасности окисления металла проволоки в момент ее отрыва от сварочной ванны.

Основы технологии газовой сварки. Газовой сваркой можно выполнять любые швы в пространстве. Наиболее трудно выполнять потолочные швы ввиду стекания вниз капель металла из сварочной ванны. Швы накладываются однослойные и многослойные. При толщине стали 8–10 мм шов выполняют в два слоя. Листы толщиной 10 мм и выше сваривают в три слоя и более. Многопроходных швов при газовой сварке не применяют из-за трудности наложения узких валиков.

Многослойной сваркой обеспечивается повышенная прочность металла шва и всего сварного соединения по сравнению с однослойной: получается меньший участок перегретого металла рядом со швом, достигается нормализация

(отжиг) нижележащих слоев при наплавке последующих. Толщина слоя подбирается такой, чтобы металл предыдущего слоя приобретал мелкозернистое строение. Для сварки незаналивающейся стали толщина слоя многослойного шва составляет 3–8 мм в зависимости от толщины и размеров изделия. Металл верхнего слоя шва рекомендуется отжечь газовым пламенем без присадочного металла.

Таблица 3.2 – Подготовка кромок для газовой сварки стыковых соединений из сталей

Название шва	Вид соединения	Размеры, мм		
		Толщина металла, S	Зазор, L	Притупление, C
С отбортовкой кромок, без присадочного металла		0,5–1,0	–	–
Без скоса кромок, односторонний		1–3	0,5–2	–
Без скоса кромок, двухсторонний: V- и X-образный		3–6 3–16 16–25	1–2 2–4 2–4	– 2–3 2–3
V-образный при разной толщине листов		5–20	2–4	1,5–2,5

Перед наложением каждого слоя нужно очистить поверхность металла предыдущего слоя проволочной щеткой от шлаков и толстой окалины.

Горизонтальные и потолочные швы обычно выполняют правым способом сварки. Вертикальные и наклонные швы сваривают снизу вверх левым способом.

При правой сварке пользуются сварочной проволокой диаметром, равным половине толщины свариваемого металла, но не более 6 мм. При левой сварке проволоку берут диаметром на 1 мм больше, чем при правой.

Листы толщиной до 3 мм обычно сваривают нормальным пламенем. Листы большей толщины сваривают пламенем с некоторым избытком кислорода, имеющим состав $O_2/C_2H_2=1,4$.

В этом случае металл проплавляется на большую глубину и сварка более производительна. Однако следует пользоваться сварочной проволокой, легированной кремнием и марганцем (Св-12ГС, Св-08Г2С и др.) для того, чтобы полнее удалить образующийся в сварочной ванне низший оксид железа FeO.

Специальные виды газовой сварки. Сварка сквозным валиком выполняется при вертикальном положении деталей в направлении снизу вверх.

Наклон горелки и присадочной проволоки, а также характер движения горелки и проволоки в процессе выполнения шва показаны на рис. 50.

При сварке труб, расположенных горизонтально, после сборки стыка (обычно на сварочных прихватах, расположенных в зависимости от диаметра трубы в 3–6 местах на равных расстояниях) сварку производят участками, независимо от того, поворотный или неповоротный стык.

При сварке с поворотом свариваемый участок обычно находится наверху и занимает положение между вертикальным диаметром и диаметром, наклоненным к нему под углом 45° . Трубы без поворота свариваются участками в нижнем, наклонном и потолочном положениях с соблюдением принципа обратноступенчатой сварки с целью борьбы с деформациями.

3.5 Основные требования безопасности труда при газовой сварке и кислородной резке

Основными источниками опасности при газовой сварке и резке могут быть:

- взрывы ацетиленовых генераторов от обратного удара пламени, если не срабатывает водяной затвор (нужно следить за тем, чтобы водяной затвор всегда был наполнен водой до надлежащего уровня, и периодически проверять его, открывая контрольный кран затвора);
- взрывы кислородных баллонов в момент их открывания, если на штуцере баллона или на клапане редуктора имеется масло;

- неосторожное обращение с пламенем горелки; пламя может быть причиной загорания волос, одежды, ожога сварщика и пожара в помещении;
- ожоги глаз в случае, если сварщики не пользуются светофильтрами (при резке, сварке и других процессах газопламенной обработки сварщики должны работать в защитных очках со стеклами Г-1, Г-2 и Г-3, а вспомогательные рабочие – со стеклами В-1, В-2 и В-3, где стекла Г-3 и В-3 наиболее темные);
- отравления скопившимися вредными газами при отсутствии обменной вентиляции в помещении. При выполнении газопламенных работ внутри отсеков, ям и резервуаров, где возможны скопления вредных газов, должны работать приточно-вытяжные вентиляторы.

Запрещается работать без водяного затвора или при неисправном затворе,

Необходимо тщательно промывать ацетиленовый генератор от известкового ила не реже двух раз в месяц при ежедневной работе генератора. Правила по обращению и уходу за ацетиленовым генератором следует строго выполнять согласно инструкции по эксплуатации данного генератора.

Запрещается переносить баллоны на плечах; следует пользоваться специальными тележками или носилками. Кислородные и ацетиленовые баллоны должны находиться в специальных стойках для предупреждения возможности их падения.

Запрещается устанавливать баллоны на солнце, возле отопительных приборов.

4 КОНТРОЛЬ СВАРОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

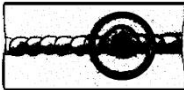











4.1 Понятие о дефекте.

Термин «дефект» означает любое несоответствие требованиям, указанным в документации на изготовление продукции. Под продукцией в сварочном производстве понимают готовые детали, узлы и изделия, изготовленные на данном предприятии. В производстве сварных изделий различают дефекты наружные, внутренние и сквозные; исправимые и неисправимые; внутрицевые и внешние.

Наружные дефекты:

- трещина сварного соединения – продольная, поперечная, разветвленная; микротрещина сварного соединения – трещина, обнаруживаемая при увеличении более чем в 50 раз;
- усадочная раковина сварного шва – углубление в шве, образовавшееся в результате усадки металла шва при затвердевании;
- утяжина сварного соединения – углубление на поверхности обратной стороны сварного соединения в не полностью проплавленном основном металле;
- вогнутость корня – углубление на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва;
- свищ сварного шва – несквозное углубление сварного шва;
- пора сварного шва – поверхностная, цепочка пор;
- поверхностное окисление сварного соединения – окалина, пленка оксидов или цветов побежалости);
- подрез зоны сплавления – продольное углубление вдоль линии сплавления сварного шва с основным металлом;
- наплыв на сварное соединение;
- превышение усиления сварного шва;
- неплавное сопряжение сварного шва;
- смещение сваренных кромок – несовпадение сваренных кромок по высоте из-за некачественной сборки сварного соединения.

Таблица 4.1 – Дефекты сварных швов

Наименование	Причина	Наименование	Причина
КРАТЕРЫ 	<ul style="list-style-type: none"> • Обрыв дуги • Неправильное выполнение конечного участка шва 	ПОДРЕЗЫ 	<ul style="list-style-type: none"> • Большой сварочный ток • Длинная дуга • Смещение при сварке угловых швов – смещение электрода в сторону вертикальной стенки
ПОРЫ 	<ul style="list-style-type: none"> • Быстрое охлаждение шва • Загрязнение кромок металлом, ржавчиной и т.п. • Непросушенные электроды • Высокая скорость сварки 	НЕРПОВАР 	<ul style="list-style-type: none"> • Малый угол скоса вертикальных кромок • Малый зазор между ними • Загрязнение кромок • Недостаточный сварочный ток • Завышенная скорость сварки
ВКЛЮЧЕНИЯ ШЛАКА 	<ul style="list-style-type: none"> • Грязь на кромках • Малый сварочный ток • Большая скорость сварки 	ПРОЖОГ 	<ul style="list-style-type: none"> • Большой ток при малой скорости сварки • Большой зазор между кромками • Под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная подкладка
НЕСПЛАВЛЕНИЯ 	<ul style="list-style-type: none"> • Плохая зачистка кромок • Большая длина дуги • Недостаточный сварочный ток • Большая скорость сварки 	НЕРАВНОМЕРНАЯ ФОРМА ШВА 	<ul style="list-style-type: none"> • Неустойчивый режим сварки • Неточное направление электрода
НАПЛИВ 	<ul style="list-style-type: none"> • Большой сварочный ток • Неправильный наклон электрода • Излишне длинная дуга 	ТРЕЩИНЫ 	<ul style="list-style-type: none"> • Резкое охлаждение конструкции • Высокие напряжения в жестко закрепленных конструкциях • Повышенное содержание фосфора или серы
СВИЩИ 	<ul style="list-style-type: none"> • Низкая пластичность металла шва • Образование закалочных структур • Напряжение от неравномерного нагрева 	ПЕРЕГРЕВ (ПЕРЕЖОГ) МЕТАЛЛА 	<ul style="list-style-type: none"> • Чрезмерный нагрев околошовной зоны • Неправильный выбор тепловой мощности • Завышенное значение мощности пламени или сварочного тока

Видами сквозных дефектов являются свищи, прожоги, трещины, сплошные непровары. Исправимые дефекты – дефекты, устранение которых технически возможно и экономически целесообразно.

4.2 Классификация дефектов и видов контроля качества продукции

Качество выпускаемой продукции проверяется или самим исполнителем продукции, или чаще всего специально выделенными работниками из отдела технического контроля (ОТК) предприятия.

Классификация основных видов контроля:

- по форме воздействия на производство: пассивный и активный;
- по охвату продукции: сплошной и выборочный;
- по месту проведения: стационарный и подвижной;
- по назначению: входной (для контроля исходных материалов и заготовок, например детали после термической вырезки); контроль сборки узлов или изделия под сварку; контроль качества сварных изделий; приемо-сдаточный контроль (заказчик принимает сварное изделие);
- по признаку организации и технологии: организационные и технологические виды контроля – внешним осмотром для выявления наружных дефектов, физические виды контроля, химические, механические, металлографические виды контроля и др.

При пассивном контроле фиксируются данные о качестве. Этим контролем продукция подразделяется на годную и дефектную. Его информация не используется для управления технологическими процессами на заводе. Обычно на заводах металлических конструкций отсутствует пассивный контроль.

При активном контроле фиксируются качество изделий и оказывается воздействие на технологический процесс и исполнителей. Он является одним из прогрессивных путей повышения качества продукции с наименьшими затратами материалов и труда.

Сплошной контроль в условиях крупносерийного и массового автоматизированного производства трудоемок и дорог; в этом случае применяют выборочный контроль. Если при выборочном контроле в проверяемой партии находятся дефектные экземпляры, то вся партия бракуется.

Подвижной контроль выполняется непосредственно на рабочем месте исполнителя технологической операции. Стационарный контроль чаще органи-

зуются в случае испытания готового сварного узла или изделия техническими средствами (например, сварной сосуд испытывается водой).

Входной контроль осуществляется для того, чтобы не допустить на предприятие недоброкачественное сырье, сварочные материалы, прокатный металл, полуфабрикаты и др. Служба контроля качества предприятия проверяет соответствие поступающих исходных материалов стандартам, техническим условиям и чертежам.

4.3 Технология контроля внешним осмотром и измерениями

При этом контроле качество продукции определяют невооруженным глазом (разрешается пользоваться лупой) с использованием измерительного инструмента (шаблонов, щупов и измерителей).

Контролю подвергаются все исходные материалы и оборудование, заготовки, собранные под сварку узлы и изделия и сами готовые сварные изделия независимо от их назначения.

Контролем выявляются при термической резке грат, подплавления, бороздки и выхваты, неперпендикулярность, изгиб, расслоения металла; при сборке – зазоры, смещения собранных кромок и др. Нормы допускаемых отклонений в технологических процессах резки, сборки и сварки зависят от технических условий на изготовление изделия.

Важными объектами контроля внешним осмотром являются: контроль качества сварочных материалов, работы резательного, сборочного и сварочного оборудования, качества заготовок, сборки деталей под сварку, выполнения сварных швов в процессе сварки и контроль качества готовых сварных соединений и изделий.

Контроль качества сварочной проволоки. Сварочная проволока поставляется промышленностью по ГОСТ 2246-70. Каждая партия проволоки должна сопровождаться сертификатом, удостоверяющим соответствие проволоки требованиям стандарта. Пользоваться для сварки проволокой без сертификата или без испытаний по методикам, приведенным в стандарте, нельзя.

Проволока должна храниться в сухом закрытом помещении, защищенном от воздействия атмосферных осадков и почвенной влаги, в условиях, предохраняющих проволоку от ржавчины, загрязнений и механических повреждений.

Перед употреблением поверхность проволоки обычно очищают от загрязнений, ржавчины и масла до блеска.

Контроль качества покрытых электродов. Покрытые электроды должны удовлетворять ГОСТ 9466-75. По стандарту срок хранения покрытых электродов установлен не свыше 3 или 6 мес. в зависимости от качества упаковки.

Электроды с просроченным сроком хранения для определения их к использованию для сварки должны быть проверены по методикам, приведенным в стандарте на электроды.

Электроды должны храниться в сухих отапливаемых помещениях при температуре не ниже +15°C.

Особенно тщательно необходимо контролировать покрытые электроды 3-й группы изготовления по качеству.

Контроль качества порошковой проволоки. Необходимо выполнять условия и сроки хранения порошковой проволоки, предусмотренные техническими требованиями завода-изготовителя порошковой проволоки. Порошковая проволока более чувствительна к отклонениям от рекомендуемых режимов и технических условий сварки, чем покрытые электроды.

Контроль качества газов. Кислород поставляется по ГОСТ 5583-78 и 6331-78, ацетилен – по ГОСТ 5457-75 и углекислый газ – по ГОСТ 8050-76. Необходимо контролировать условия и сроки хранения газов. Например, гарантийный срок хранения ацетилена в баллонах шесть месяцев, по истечении гарантийного срока перед использованием газовый продукт должен быть проверен на соответствие требованиям стандарта.

Контроль качества работы резательного, сборочного и сварочного оборудования. Ежедневно за исправностью и правильной работой оборудования следят сами исполнители технологических операций. Наладчики оборудования периодически занимаются профилактическим ремонтом оборудования. Особенно важными объектами для контроля работы оборудования являются контрольно-

измерительные приборы, по которым определяются режимы работы оборудования при сварке.

Контроль качества заготовок. В стадии обработки заготовок проверяют:

- соответствие применяемого металла чертежу на основании сертификата завода-изготовителя металла или заводским лабораторным испытанием металла;
- отсутствие внешних пороков металла: раковин, расслоений и др.;
- соблюдение качества деталей после заготовительных операций в соответствии с чертежами и техническими условиями, например по точности размеров и качеству поверхности реза и др.;
- правильность нанесения маркировки на детали и соответствие их чертежу;
- перенос номера плавки получаемого со склада металла на ответственные детали.

В случае термической вырезки заготовок, идущих на сборку изделий без механической обработки кромок металла, необходим контроль над соблюдением установленных технологией режимов резки, угла скоса кромок и величины их притупления. Нельзя допускать различной величины скоса и притупления кромок по длине заготовок.

Часто в соответствии с техническими условиями кромки вырезанных деталей подвергают механической обработке. Обработка кромок резцом или фрезой улучшает точность термической резки, качество поверхности реза, удаляет слой науглероживающего (например, при ацетилено-кислородной резке) и азотированного (например, при воздушно-плазменной резке) металла; последнее обычно приводит к трещинам на кромках реза и некачественным сварным соединениям.

Для выполнения механической обработки кромок на заготовках предусматриваются припуски. После кислородной резки низкоуглеродистой стали припуск составляет не менее 1 мм для листов толщиной 4–25 мм и до 3 мм – для листов 100–300 мм.

Контроль качества сборки деталей под сварку. В собранном узле или изделии проверяют:

- соответствие геометрических и основных размеров рабочим чертежам, соблюдение допусков;
- зазоры между деталями, отсутствие смещения свариваемых кромок, величину нахлестки в соединении;
- чистоту металла в зоне сварки, отсутствие ржавчины, масла и других загрязнений.

Контроль процесса сварки и готовых сварных соединений. В процессе сварки выборочно проверяют:

- порядок выполнения швов в соответствии с утвержденным технологическим процессом;
- зачистку предыдущих слоев шва перед наложением последующего слоя шва; режимы сварки.

В процессе выполнения слоев (проходов) шва следует тщательно проверять первый слой металла, в котором могут образоваться трещины при остывании металла из-за больших усадочных напряжений.

Ток и напряжение на дуге должны определяться на исправных проверенных амперметрах и вольтметрах. При газовой сварке контролируют давление газов манометрами, которые периодически должны проверяться.

Контроль внешним осмотром осуществляется по всей протяженности сварных швов с двух сторон. Швы проверяются шаблонами.

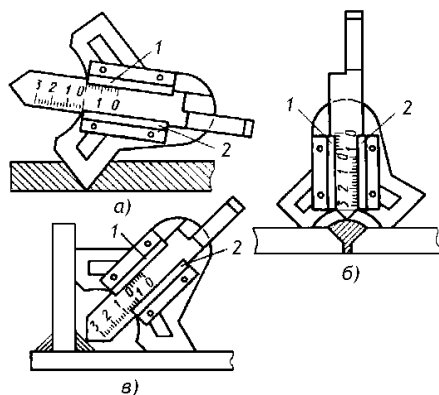


Рисунок 4.1 – Универсальный измеритель швов, где а – проверка угла скоса кромок, б – проверка величины превышения усиления шва, в – проверка высоты углового шва; 1 – шкала выпуклости стыкового шва. 2 – шкала высоты углового шва

5 СВАРИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ

5.1 Понятие свариваемости

Свариваемость – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Сложность понятия свариваемости материалов объясняется тем, что при оценке свариваемости должна учитываться взаимосвязь сварочных материалов, материалов и конструкции изделия с технологией сварки. Показателей свариваемости много. Например, показателем хорошей свариваемости низкоуглеродистой стали в изделиях, работающих при статических нагрузках и цеховой температуре, является возможность получения сварных соединений равнопрочных с основным металлом без применения специальных технологических условий (предварительного подогрева, термообработки и др.).

Показателями свариваемости легированных сталей, предназначенных, например, для изготовления химической аппаратуры, является возможность получить сварное соединение, обеспечивающее специальные свойства – коррозионную стойкость, прочность при высоких или низких температурах.

При сварке разнородных металлов показателем свариваемости является возможность образования в соединении межатомных связей. Металлы однородные соединяются сваркой без затруднений, тогда как некоторые пары из разнородных металлов совершенно не образуют в соединении межатомных связей, например не сваривается медь со свинцом, затруднена сварка железа со свинцом, титана с углеродистой сталью, медью и т. д.

Важными показателями свариваемости металлов являются возможность избежания в сварных соединениях закаленных участков, трещин и других дефектов, отрицательно влияющих на работу сварного изделия.

При оценке свариваемости термически упрочненной стали важной характеристикой является ее склонность к разупрочнению (потере прочности) при сварке. Обычно разупрочнение происходит в зоне термического влияния на участке с температурами нагрева 400 – 720 °С в зависимости от температуры

отпуска стали на металлургическом заводе в процессе ее изготовления (закалка плюс отпуск).

Все это показывает, что свариваемость металла зависит от состава металла, его физических свойств, технологии сварки (выбор присадочного материала, режима сварки и др.), формы и размеров изделия, условий эксплуатации. Единого показателя свариваемости металлов нет.

5.2 Классификация сталей по свариваемости

Свариваемость металлов носит комплексный характер, зависящий от ряда показателей прежде всего от свойств свариваемого металла.

При проектировании сварного изделия применяют различные методики и технологические пробы с целью определения свариваемости и проверки стойкости металла против образования трещин, перехода в хрупкое состояние, коррозии, износа и др.

Стали подразделяют по свариваемости на четыре группы.

1. Стали с хорошей свариваемостью, при сварке которых качественное сварное соединение получается при обычных режимах всеми видами сварки без предварительного и сопутствующего подогрева.

2. Стали с удовлетворительной свариваемостью – качественное сварное соединение можно получить только в узком диапазоне режимов с применением дополнительных технологических мероприятий (предварительный подогрев конструкции).

3. Стали с ограниченной свариваемостью, при сварке которых удовлетворительное качество сварных соединений достигается в очень узком диапазоне режимов сварки с обязательным предварительным и сопутствующим подогревом при сварке и последующей после сварки термической обработкой.

4. Стали с плохой свариваемостью, при сварке (или после сварки) которых образуются горячие или холодные трещины даже при применении специальных технологических мероприятий. Признаком плохой свариваемости считается также повышенная склонность металла к образованию закалочных структур в зоне сварки.

Таблица 5.1 – Классификация сталей по свариваемости.

Группа свариваемости	ГОСТ	Марка стали
Хорошо сваривающиеся	380-94	Низкоуглеродистые Ст1-Ст4 (кп, пс, сп)
	1050-88	08-25 (кп, пс)
	803-81	11ЮА, 18ЮА
	4041-71	08Ю, 25пс
Хорошо сваривающиеся	5520-79	15К, 16К, 18К, 20К, 22К
	5521-93	А, А32, А36, А40, В, Д, Д32, Д36, Д40, Е, Е32, Е36, Е40
	5781-82	10ГТ
	977-88	15Л, 20Л, 25Л
	4543-71	Низколегированные 15Г, 20Г, 25Г, 10Г2, 12ХН, 12ХН2, 15Н2М, 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХФ, 20Н2М
	19281-89	09Г2, 09Г2С, 09Г2Д, 10Г2Б, 10Г2БД, 12ГС, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1, 09Г2СД, 10Г2С1Д, ЮХСНД, ЮХНДП, 14Г2АФ, 14Г2АФД, 15ГФД, 15ХСНД
	977-88	08ГДНФЛ, 12ДН2ФЛ, 13ХДНФТЛ
Удовлетворительно сваривающиеся	380-94	Углеродистые Ст5 (пс, сп), Ст5Гпс
	1050-88	30
	977-75	30Л
	4543-71	Легированные 16ХГ, 18ХГТ, 14ХГН, 19ХГН, 20ХГСА, 20ХГР, 20ХН, 20ХНР, 12ХН3А, 20ХН2М
	19281-89	15Г2АФДпс, 16Г2АФД, 15Г2СФ, 15Г2СФД
	10702-78	20Г2С
	5781-82	18Г2С, 25Г2С
Ограниченно сваривающиеся	977-88	20ГЛ, 20ГСЛ, 20ФЛ, 20Г1ФЛ, 20ДХЛ, 12ДХН1МФЛ
	380-94	Углеродистые Ст5 (пс, сп), Ст5Гпс
	1050-88	35, 40, 45
	977-88	35Л 40Л, 45Л
	4543-71	Легированные 25ХГСА, 29ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 20ХН4А, 25ХГМ, 35Г, 35Г2, 35Х, 40Х, 33ХС, 38ХС, 30ХГТ, 30ХРА, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА, 25ХГНМТ, 30ХГН3А, 20Х2Н4А
	11268-76	12Х2НВФА
	977-88	35ГЛ, 32Х06Л, 45ФЛ, 40ХЛ, 35ХГСЛ, 35НГМЛ, 20ХГСНДМЛ, 30ХГСФЛ, 23ХГС2МФЛ
Плохо сваривающиеся	1050-88	Углеродистые 50, 55
	977-88	50Л, 55Л
	4543-71	Легированные 50Г, 45Г2, 50Г2, 45Х, 40ХС, 50ХГ, 50ХГА, 50ХН, 55С2, 55С2А, 30ХГСН2А и др.
	11268-76	23Х2НВФА
	10702-78	38ХГНМ
	5950-2000	9Х, 9Х1
	977-88	30ХНМЛ, 25Х2Г2ФЛ
	1435-99	У7-У13А

5.3 Влияние легирующих примесей на свариваемость сталей

Углерод (С) – одна из важнейших примесей, определяющая прочность, пластичность, закаливаемость и др. характеристики стали. Содержание углерода в сталях до 0,25% не снижает свариваемости. Более высокое содержание С при-

водит к образованию закалочных структур в металле зоны термического влияния и появлению трещин.

Сера (S) и фосфор (P) – вредные примеси. Повышенное содержание S приводит к образованию горячих трещин – красноломкость, а P вызывает хладноломкость. Поэтому содержание S и P в низкоуглеродистых сталях ограничивают до 0,4–0,5%.

Кремний (Si) присутствует в сталях как примесь в количестве до 0,3% в качестве раскислителя. При таком содержании Si свариваемость сталей не ухудшается. В качестве легирующего элемента при содержании Si – до 0,8–1,0% (особенно до 1,5%) возможно образование тугоплавких оксидов Si, ухудшающих свариваемость стали.

Марганец (Mn) при содержании в стали до 1,0% – процесс сварки не затруднен. При сварке сталей с содержанием Mn в количестве 1,8–2,5% возможно появление закалочных структур и трещин в металле зоны термического влияния.

Хром (Cr) в низкоуглеродистых сталях ограничивается как примесь в количестве до 0,3%. В низколегированных сталях возможно содержание хрома в пределах 0,7–3,5%. В легированных сталях его содержание колеблется от 12% до 18%, а в высоколегированных сталях достигает 35%. При сварке хром образует карбиды, ухудшающие коррозионную стойкость стали. Хром способствует образованию тугоплавких оксидов, затрудняющих процесс сварки.

Никель (Ni) аналогично хрому содержится в низкоуглеродистых сталях в количестве до 0,3%. В низколегированных сталях его содержание возрастает до 5%, а в высоколегированных – до 35%. В сплавах на никелевой основе его содержание является преобладающим. Никель увеличивает прочностные и пластические свойства стали, оказывает положительное влияние на свариваемость.

Ванадий (V) в легированных сталях содержится в количестве 0,2–0,8%. Он повышает вязкость и пластичность стали, улучшает ее структуру, способствует повышению прокаливаемости.

Молибден (Mo) в сталях ограничивается 0,8%. При таком содержании он положительно влияет на прочностные показатели сталей и измельчает ее струк-

туру. Однако при сварке он выгорает и способствует образованию трещин в наплавленном металле.

Титан и ниобий (Ti и Nb) в коррозионностойких и жаропрочных сталях содержатся в количестве до 1%. Они снижают чувствительность стали к межкристаллитной коррозии, вместе с тем ниобий в сталях типа 18-8 способствует образованию горячих трещин.

Медь (Cu) содержится в сталях как примесь (в количестве до 0,3% включительно), как добавка в низколегированных сталях (0,15 до 0,5%) и как легирующий элемент (до 0,8–1,0%). Она повышает коррозионные свойства стали, не ухудшая свариваемости.

5.4 Оценка свариваемости сталей

Приблизительно свариваемость углеродистых и низколегированных сталей можно оценить по углеродному эквиваленту $C_{эк}$, который вычисляют по эмпирическим формулам. Известно несколько таких зависимостей:

$$C_{эк} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2} \quad (5.1)$$

где C, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, P – массовые доли углерода, марганца, кремния, хрома, никеля, меди, ванадия и фосфора, %. Эту зависимость в ГОСТ 27772-88 рекомендуют для оценки свариваемости проката для строительных конструкций.

Европейская ассоциация по сварке (МИС) рекомендует зависимость 5.2:

$$C_{эк} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (5.2)$$

а нормы Японии – зависимость 5.3

$$C_{эк} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} \quad (5.3)$$

Сталь считают не склонной к образованию холодных трещин при сварке, если $C, < 0,45 \%$; при $C_{эк} > 0,45 \%$ в сталях появляется потенциальная возможность возникновения холодных трещин. Если предварительная оценка свариваемости по $C_{эк}$ указывает на склонность стали к образованию холодных трещин, то,

как правило, применяют дополнительные технологические мероприятия, например предварительный подогрев свариваемых элементов.

Другим критерием, указывающим на возможное охрупчивание стали вследствие структурных превращений, является твердость зоны термического влияния. Зона термического влияния (ЗТВ) – участок основного металла, примыкающий к сварному шву, в пределах которого металл под действием источника нагрева претерпевает фазовые и структурные превращения. Поэтому ЗТВ имеет отличные от основного металла величину зерна и микроструктуру.

Если твердость выше HV 350...400, то в структуре ЗТВ уже присутствует смесь твердых продуктов распада аустенита, которые склонны к образованию холодных трещин.

Для обычных углеродистых и низколегированных сталей возможную максимальную величину твердости в ЗТВ можно вычислить на основе химического состава стали:

$$HV_{\max} = 90 + 1050C + 47Si + 75Mn + 30Ni + 31Cr \quad (5.4)$$

где C, Si, Mn, Ni, Cr – массовые доли химических элементов, %.

На образование холодных трещин решающее влияние оказывает воздействие растягивающих остаточных напряжений после окончания сварки. Эти напряжения зависят от толщины сварного соединения, типа сварного: узла и особенно от жесткости свариваемой части конструкции. Значение этих напряжений может быть выражено с помощью коэффициента интенсивности жесткости K, который представляет собой силу, вызывающую раскрытие на 1 мм зазора в сварном соединении длиной 1 мм (Н/мм²). Коэффициент интенсивности жесткости равен $K = K_q \cdot S$, где $K_q = 69$ – постоянная; S – толщина листа, мм. Данное значение постоянной можно использовать для приближенных вычислений K стыковых соединений при толщинах листа до 150 мм.

На основании изучения действия всех трех основных факторов, способствующих образованию холодных трещин, получено параметрическое уравнение для оценки чувствительности сталей к образованию холодных трещин, %

$$P_w = P_{cm} + \frac{H}{60} + 0,25 \frac{K}{105} \quad (5.5)$$

где P_{cm} – коэффициент, характеризующий охрупчивание вследствие структурного превращения и вычисляемый по уравнению Ито-Бессю, % (см. формулу 5.6); H – количество диффузионного водорода в металле сварного шва; K – коэффициент интенсивности жесткости.

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo+V}{15} + 5B \quad (5.6)$$

Многочисленные исследования показали, что сталь чувствительна к образованию холодных трещин, если $P_w > 0,286$.

Предотвратить образование холодных трещин можно тремя путями:

- снижением общей жесткости сварного узла или конструкции, что обычно требует изменения конструктивных решений;
- снижением содержания диффузионного водорода путем точного контроля и выбора оптимальных режимов сварки;
- применением таких параметров режима сварки, которые исключают охрупчивание в сварном соединении и облегчают диффузионное удаление водорода из сварного шва. Наиболее реальным и часто применяемым является последний из перечисленных способов.

Таблица 5.2 – Зависимость условий сварки от группы свариваемости

Группа свариваемости	Условия сварки
I	Без ограничений, в широком диапазоне режимов сварки независимо от толщины металла, жесткости конструкций, температуры окружающей среды
II	Сварка только при температуре окружающей среды не ниже -5 °С, толщине металла менее 20 мм при отсутствии ветра
III	Сварка с предварительным или сопутствующим подогревом до 250 °С в жестком диапазоне режимов сварки
IV	Сварка с предварительным и сопутствующим подогревом, термообработкой после сварки

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется сваркой?
2. Назовите основные виды сварки плавлением, давлением.
3. Перечислите основные виды дуговой сварки, различаемые по способу защиты металла сварочной ванны от воздуха.
4. Назовите основные типы сварных соединений, их преимущества и недостатки?
5. Расскажите о классификации сварных швов.
6. Изобразите условные обозначения некоторых швов сварных соединений.
7. Что называется сварочным постом?
8. Перечислите принадлежности и инструмент электросварщика.
9. Как классифицируются стальные покрытые электроды?
10. Как выбирают схему колебательных движений концом электрода?
11. Каковы преимущества обратноступенчатой сварки перед сваркой напроход?
12. Как выбирают число слоев и проходов при выполнении шва?
13. Что такое режим дуговой сварки?
14. Какие нужно соблюдать требования безопасности при выполнении ручной дуговой сварки?
15. Что называется дефектом детали, изделия?
16. Какие виды дефектов бывают в производстве сварных изделий?
17. Расскажите о назначении контроля качества продукции.
18. Какой контроль называют входным и приемосдаточным?
19. Расскажите о технологии контроля качества сварочных материалов, заготовок, сборки и сварки.
20. Что называется сварочной дугой?
21. Какие существуют основные виды сварочных дуг?
22. Какие надо выполнить условия для зажигания и горения дуг?
23. Объясните строение электрической дуги.
24. Назовите типы переноса электродного металла.

25. В чем преимущества струйного переноса электродного металла перед крупнокапельным?
26. В чем заключаются особенности металлургии сварки?
27. Какие вещества растворяются в жидком железе?
28. Назовите способы борьбы с загрязнениями при сварке и их сущность.
29. Объясните сущность процесса кристаллизации металла шва.
30. Назовите участки зоны термического влияния в сварном соединении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алов А. А. Основы теории процессов сварки и пайки.** [Текст]: М., «Машиностроение», 1964, 272 с.
2. **Земзин В. Н. Сварные соединения разнородных сталей.** [Текст]: М.-Л., «Машиностроение», 1966, 232 с.
3. **Лашко Н. Ф., Лашко С. В. Некоторые проблемы свариваемости металлов.** [Текст]: М., Машгиз, 1963, 300 с.
4. **Назаренко О. К. и др. Электронно-лучевая сварка.** [Текст]: М., «Машиностроение», 1966, 127 с.
5. **Назаров С. Т. Методы контроля качества сварных соединений.** [Текст]: М., «Машиностроение», 1964, 128 с.
6. **Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций.** [Текст]: М., «Высшая школа», 1971, 760 с.
7. **Патон Б. Е. (ред.) Технология электрической сварки плавлением.** [Текст]: Москва-Киев, Машгиз, 1962, 663 с.
8. **Петров Г. Л., Тумарев А. С. Теория сварочных процессов.** [Текст]: М., «Высшая школа», 1967, 508 с.
9. **Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка.** [Текст]: Харьков, Metallurgizdat, 1961, 421 с.
10. **Фролов В. В. (ред.). Теоретические основы сварки.** [Текст]: М., «Высшая школа», 1970, 392 с.
11. **Хренов К. К. Сварка, резка и пайка металлов.** [Текст]: Изд. 3-е, М., «Машиностроение», 1970, 408 с.
12. **Электроды для дуговой сварки и наплавки.** [Текст]: Каталог, Киев, «Наукова думка», 1967, 440 с.