

Тема №6 «ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ»

Сварка широко распространена в машиностроении, так как по сравнению с клепкой, пайкой, склеиванием качество соединения деталей значительно выше. Во многих случаях уменьшается расход металла, сокращается трудоемкость изготовления. Сварку применяют для соединения однородных и разнородных металлов и их сплавов, металлов с неметаллическими материалами (керамикой, графитом, карборундом, стеклом и др.), а также пластмасс. Основным материалом для сварных конструкций в машиностроении является сталь. Но в сварных конструкциях так же применяют алюминий и его сплавы, сплавы титана, а для ответственных изделий – молибден, ниобий, вольфрам, цирконий, тантал и другие тугоплавкие металлы. Получение необходимых механических и физических свойств сварных соединений, обеспечение рациональных форм и разработка технологичных сварных конструкций – главная задача проектирования.

Впервые в 1802г. явление электрической дуги между двумя графитовыми электродами открыл акад. В.В.Петров и предсказал возможность использования тепловой энергии дуги для плавления металла. В 1882 г. Н.Н. Бенардос изобрел электрическую дуговую сварку плавлением графитовым электродом.

1.Процесс сварки плавлением. Выбор режима ручной дуговой сварки конструкций из стали

При *дуговой сварке* плавящимся *электродом* расплавление кромок свариваемых заготовок и *электрода* осуществляется за счет теплоты электрической сварочной дуги. Электрическая сварочная дуга – стационарный мощный электрический разряд при значительной плотности тока ($0,5-100 \text{ А/мм}^2$) в сильно ионизированной газовой среде между двумя электродами, одним из которых обычно являются свариваемые заготовки. В процессе горения сварочной дуги выделяется

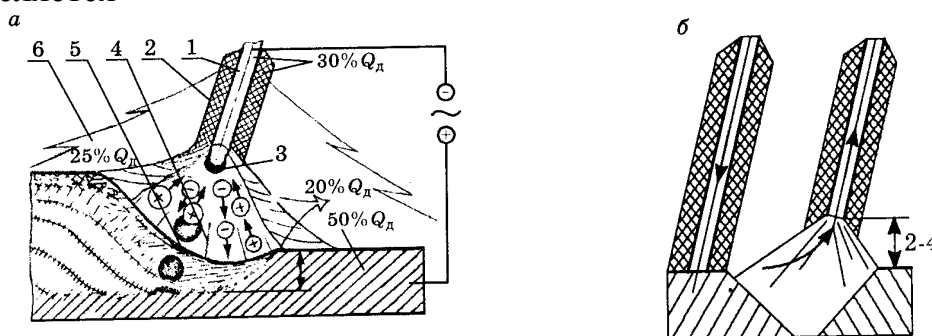


Рис.1.1. Схема электрической дуги при сварке металлическим электродом с покрытием

большое количество теплоты, образуется яркое световое излучение, невидимые ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, газы и пыль. Электрическая сварочная дуга (рис.1.1, а) состоит из катодного 3 и анодного 5 пятен и столба дуги 4. Снаружи она окружена ореолом 6, состоящим из смеси газов, паров и пыли. Для зажигания дуги необходимо легко коснуться стержнем с покрытием 2 электрода свариваемой заготовки (рис.1.1, б) с замыканием электрической цепи накоротко, после чего отвести электрод от заготовки на расстояние 2-4

мм. Происходит быстрый разогрев торца электрода за счет теплоты, выделяемой током короткого замыкания. После отвода электрода с разогретого торца металлического стержня, являющегося катодом, свободные электроны под действием электрического поля устремляются к аноду (заготовке). Им сообщается значительная кинетическая энергия. В межэлектродном зазоре электроны сталкиваются (соударяются) с молекулами и атомами воздуха и между собой. Эти соударения могут быть упругими и неупругими. При упругом соударении часть кинетической энергии электронов передается атому или молекуле воздуха. В результате температура в дуговом промежутке (столбе дуги) повышается до 6000-7000 °С. При неупругом соударении происходит ионизация молекулы воздуха с выделением электронов, положительных и отрицательных ионов. Электроны и отрицательные ионы продолжают движение к аноду и бомбардируют его поверхность. В результате торможения их движения происходит превращение кинетической энергии в тепловую и поверхность анода (анодное пятно) разогревается до $t = 2600-3000$ °С. Положительные ионы под действием сил притяжения движутся к катоду и, бомбардируя его поверхность, нагревают ее (катодное пятно) до 2000-2600 °С. В дуге постоянного тока прямой полярности (минус на электроде, плюс на заготовке) на аноде выделяется большее количество теплоты (41-42 % от общего количества Q_d), чем на катоде (36-38 %), в связи с тем, что анод подвергается более мощной бомбардировке заряженными частицами. В дуге переменного тока различие температур катодного и анодного пятен сглаживается вследствие их периодической смены с частотой, равной частоте тока (50 Гц).

Для устойчивого горения дуги необходимы постоянный межэлектродный зазор (длина дуги), определенное напряжение и ток в цепи, достаточная ионизация воздушного промежутка, стабильность свойств источника тока, питающего дугу.

1.2. Классификация и обозначение покрытых электродов для ручной дуговой сварки

Покрытые электроды для ручной дуговой сварки классифицируют по назначению, виду и толщине покрытия, допустимому пространственному положению сварки или наплавки, роду и полярности сварочного тока.

По назначению различают электроды для сварки стали, чугуна, алюминия, меди.

Обозначения электродов для сварки:

углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_B > 600$ МПа — У;

легированных конструкционных сталей с σ_B до 600 МПа — Л;

легированных теплоустойчивых сталей — Т;

высоколегированных и сталей с особыми свойствами — В;

для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами — Н.

В зависимости от механических свойств наплавленного металла применяют электроды 14 типов: Э42, Э46А, Э50...Э150.

Тип электрода обозначается буквой Э с цифрой, указывающей гарантированное временное сопротивление разрыву наплавленного металла в КГс/мм². Буква А после цифр обозначает повышенную пластичность наплавленного металла.

По виду покрытия электроды разделяются на:

А — с кислым покрытием (ОММ-5, АНО-2, СМ-5, ЦМ-7, МЭЗ-04 и др.), содержащим оксиды железа, марганца, кремния, иногда титана. При плавлении покрытия выделяется большое количество O_2 , Hg , кроме того, оно токсично. Эти электроды обеспечивают стабильное горение дуги на переменном и постоянном токе. Металл шва отличается повышенной степенью окисления, плотностью и пластичностью;

Б — с основным покрытием (УОНИ-13/45, УОНИ-13/5БК, УОНИ-В/85, АНО-Т, ОЗС-5, ДСК-50, СН-11, УП-1/45 и др.), содержащим мрамор — $CaCO_3$, плавиковый шпат — CaF_2 , кварцевый песок, ферросплавы. Наплавленный металл имеет большую прочность на ударный изгиб, малую склонность к старению и появлению трещин. Эти электроды применяются для сварки на постоянном токе обратной полярности ответственных конструкций из углеродистых и легированных сталей;

Р — с рутиловым покрытием (ОЗС-12, АНО-32, ОЗС-6, АНО-6, МР-4, ОЗЛ-32 и др.), содержащим рутил — TiO_2 , мрамор — $CaCO_3$, полевой шпат — $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, каолин, иногда железный порошок. Они обеспечивают устойчивое горение дуги и хорошее формирование шва во всех пространственных положениях;

Ц — с целлюлозным покрытием (ОМА-2, ВСЦ-1, ВСЦ-2, ВСП-1, ВСЦ-4М и др.). При плавлении покрытия выделяется большое количество газов. Эти электроды применяются для сварки металла малой толщины и при сварке в монтажных условиях.

П — с прочими покрытиями (ильменитовым, рутил-ильменитовым — АНО-24, рутилосновным — АНО-30, фтористокальциевым — АНО-Д и др.).

В состав покрытия входят: стабилизирующие, шлакообразующие, легирующие, раскисляющие, газообразующие, формующие, связывающие компоненты. Покрытие обеспечивает газовую и шлаковую защиту зоны сварки и расплавленного металла, раскисление и легирование металла сварочной ванны, стабильность горения дуги. По толщине покрытия (отношению диаметра электрода D к диаметру стержня d) электроды изготавливают:

М — с тонким покрытием $D/d < 1,2$;

С — со средним покрытием $1,2 < D/d < 1,45$;

Д — с толстым покрытием $1,45 < D/d < 1,8$;

Г — с особо толстым покрытием $D/d > 1,8$.

По допустимому пространственному положению сварки электроды разделяются: для всех положений — 1; для всех положений, кроме вертикального — 2; для нижнего, горизонтального и вертикального — 3; для нижнего — 4.

По качеству изготовления, состоянию поверхности покрытия электроды бывают 1, 2, 3 групп. По роду и полярности применяемого при сварке или на-

плавке тока и номинальному на-пряжению холостого хода источника переменного тока электроды подразделяются: 0 — обратная полярность постоянного тока, 4 — любая, 5 — прямая, 6 — обратная для постоянного тока и для переменного тока с напряжением холостого хода 70 В.

Примеры условного обозначения электродов:

а) тип Э46А по ГОСТ 9467-75 марки УОНИ-13/45 диаметром 3,0 для сварки углеродистых и низколегированных сталей — У, с толстым покрытием — Д, 2-й группы с механическими свойствами направленного металла: $\sigma_b > 460$ МПа (43), δ — 22% (2), $KCU = 0,35$ Дж/мм² при $t = -40$ °С (5) с основным покрытием Б для сварки во всех пространственных положениях — 1, на постоянном токе обратной полярности 0:

Э46А-УОПИ-13/45-3,0У,0 ГОСТ 9466 -75, ГОСТ 9467-75
Е432(5)-Б1.0

б) типа Э-09Х1МФ по ГОСТ 9467-75 марки ЦЛ-20 диаметром 40 мм для сварки легированных теплоустойчивых сталей — Т с толстым покрытием Д 3-й группы с механическими свойствами наплавленного металла — прочностью на ударный изгиб $KCU = 0,35$ Дж/мм² при ОС (2) и длительной прочностью при $t < 580$ °С (7) с основным покрытием Б для сварки во всех пространственных положениях 1 на постоянном токе обратной полярности 0:

Э - 09Х1М - ЦЛ - 20 - 4,0 - ТДЗ ГОСТ 9466-75, ГОСТ 9467-75
Е - 27 - Б1.0

1.3. Устройство и работа сварочного трансформатора и выпрямителя

Для питания электрической дуги применяются источники переменного тока — *сварочные трансформаторы* и постоянного тока — *сварочные выпрямители* и *генераторы* (преобразователи), инверторные источники. Сварочный трансформатор состоит из понижающего силового трансформатора и специального устройства (дресселя, шунта, подвижной катушки), предназначенного для регулирования силы сварочного тока, напряжения, и обеспечения, чаще всего, падающей вольтамперной характеристики. Сварочные трансформаторы могут быть с нормальным и повышенным магнитным рассеянием, механическим и электрическим регулированием сварочного тока и напряжения.

Наиболее широко применяются сварочные трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием. По способу изменения магнитного рассеяния и индуктивного сопротивления они могут быть с магнитным шунтом, подвижными катушками и витковым (ступенчатым) регулированием. У трансформаторов с подвижным магнитным шунтом типа СТШ (рис.1.2) он конструктивно выполнен из двух половин, расходящихся в противоположные стороны.

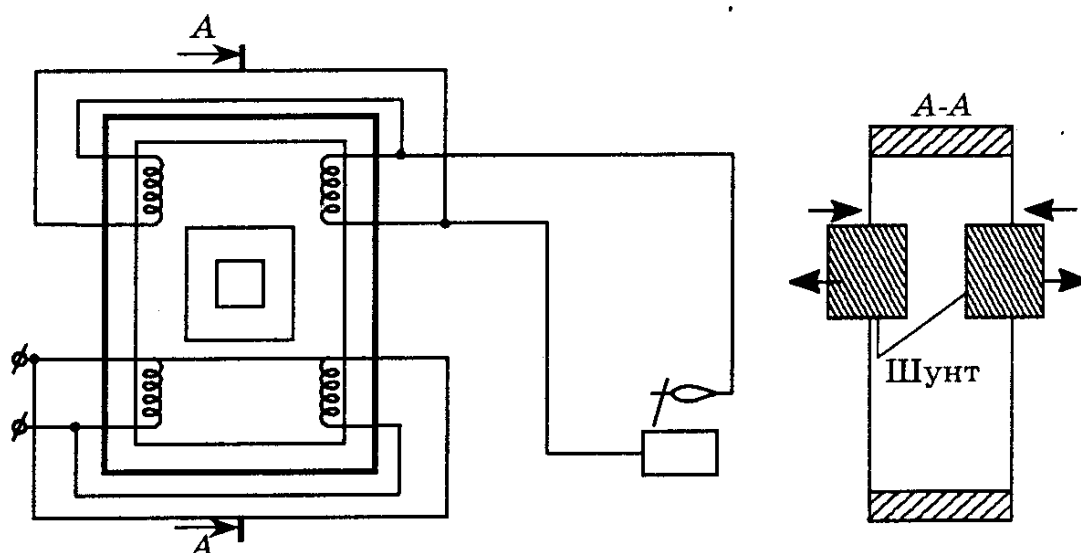


Рис.1.2. Электрическая схема сварочного трансформатора типа СТШ 500-80

Сила сварочного тока регулируется изменением положения шунта в магнитном сердечнике. Когда шунт полностью вдвинут в сердечник, магнитный поток рассеяния и реактивная ЭДС рассеяния максимальны, а сварочный ток минимален.

У трансформаторов с подвижными катушками типа ТС, ТСК, ТД (рис.1.3) магнитное рассеяние регулируется изменением расстояния между неподвижной первичной 1 и подвижной вторичной 2 обмотками. Это изменение осуществляется поворотом рукоятки 3

и винта, связанного с подвижной отмоткой. Сила сварочного тока увеличивается при сближении обмоток и уменьшается при увеличении расстояния между ними. Напряжение холостого хода при сдвинутых катушках больше, а при раздвинутых — меньше. У трансформаторов типа ТСК конденсаторы, включенные параллельно первичной обмотке, обеспечивают повышение коэффициента мощности.

В трансформаторах типа ТД (рис.1.4) применено двухдиапазонное плавное регулирование тока: в диапазоне малых токов катушки первичной и вторичной обмоток включаются

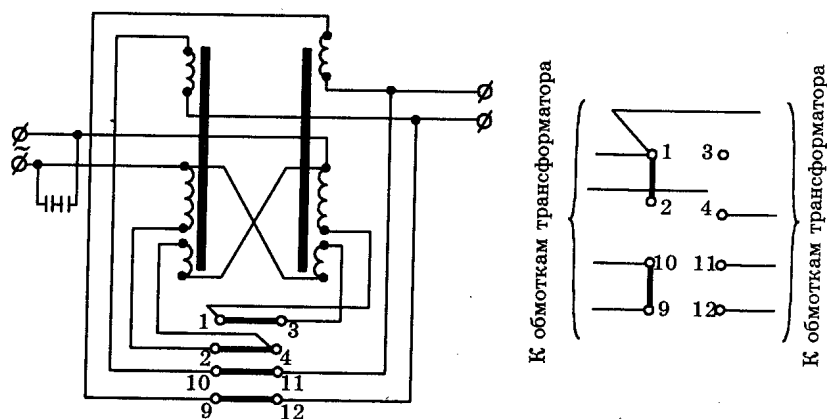


Рис.1.4. Электрическая схема трансформатора ТД-500

последовательно, а больших — параллельно. Включение и отключение катушек производится переключателем, смонтированным внутри трансформаторов.

Сварочные выпрямители и генераторы выпускаются с падающими и жесткими внешними характеристиками. Выпрямители с падающими внешними характеристиками типа ВД предназначены для ручной дуговой сварки, резки, наплавки, автоматической дуговой сварки под флюсом, а с жесткими внешними характеристиками типов ВС, ВДГ, ВМ и универсальные ВДУ, ВСУ — для дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах и под флюсом.

Каждый источник питания дуги рассчитан на определенную (номинальную) нагрузку, при которой он работает, не перегреваясь выше допустимой температуры (по паспорту). Обычно режим работы источников питания при дуговой сварке обозначают:

ПН — продолжительность нагрузки; ПР — продолжительность работы; ПВ — продолжительность включения. Режим работы характеризуется отношением времени сварки к сумме времени сварки и холостого хода

$$\text{ПН (ПР, ПВ)} = \frac{t_{\text{св}}}{t_{\text{св}} + t_{\text{п}}} 100\%,$$

где $t_{\text{св}}$ — время сварки; $t_{\text{п}}$ — время пауз.

Различие между ПН, ПР, ПВ состоит в том, что в режимах ПН и ПР источники питания (трансформаторы) во время паузы не отключаются от сети и при разомкнутой сварочной цепи работают на холостом ходу, а в режиме ПВ (выпрямители) полностью отключаются от сети.

За номинальный режим работы однопостовых сварочных трансформаторов, выпрямителей, генераторов принят режим ПН = 20, 35 или 60%, а у многопостовых и установок тока для автоматической сварки — ПН = 100%.

1.4. Выбор режима сварки

Режим обуславливает характер протекания процесса сварки и обеспечивает получение сварного шва заданной формы и размеров. Все определяется диаметром, типом и маркой электрода, коэффициентом наплавки, родом, полярностью и силой тока, напряжением дуги, скоростью сварки, углом наклона и движения электрода, массой наплавленного металла.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла. При сварке в нижнем положении для выбора диаметра можно пользоваться табл. 1.1.

Таблица 1.1

Выбор диаметра стержня электрода по толщине свариваемого металла

Толщина S свариваемого металла, мм	до 1,5	2	3	4-5	6-8	9-12	13-15	16-20	св. 20
Диаметр d стержня электрода, мм	1; 1,6	2	3	3-4	4; 5	4; 5	5	5; 6	6; 8

При сварке горизонтальных, вертикальных и потолочных швов независимо от толщины свариваемого металла применяют электроды диаметром $d_{\text{э}} < 4$

мм.

Тип и марка электрода выбираются в зависимости от марки и механических свойств (σ_B , σ_T , KCV, ...) свариваемого металла, назначения и условий работы конструкции (табл.1.2).

Сила сварочного тока I выбирается в зависимости от диаметра стержня электрода $d_э$ и положения сварного шва в пространстве. При сварке в нижнем положении

$$I = K \cdot d_э, A,$$

где K — коэффициент пропорциональности, который при сварке углеродистых и низколегированных сталей в нижнем положении равен 35-60 А/мм для толщины металла 5-30 мм.

При сварке горизонтальных и вертикальных швов сила тока уменьшается на 10-15, а потолочных — на 15-20%. Чрезмерно большой сварочный ток приводит к перегреву и разбрызгиванию электродного металла, ухудшению формирования шва, а при сварке тонкостенных заготовок — к прожогу стенок. Сварка на малых токах сопровождается неустойчивым горением дуги, непроваром, малой производительностью.

Род тока и полярность выбираются в зависимости от марки свариваемого металла, его толщины, марки электрода, назначения конструкции. Сварка на постоянном токе обратной полярности применяется для тонкостенных заготовок и высоколегированных сталей с целью исключения их перегрева. Сварку углеродистых сталей обычно выполняют на переменном токе.

Напряжение для устойчивого горения дуги U_d определяется по формулам:

$$U_d = U_{ка} + E_c \cdot l \text{ или } U_d = 20 + 0,04I,$$

где ($U_{ка} = 20-22$ — суммарное падение напряжения на катоде и аноде, В; $E_c = 3,3-3,8$ — градиент напряжения (напряженность) в столбе дуги. В/мм; $l = (0,5-1, l) d$ — длина дуги, мм; I — сварочный ток.

По выбранным U_d и I с учетом производительности и КПД выбирают тип сварочного трансформатора (табл.1.3) или выпрямителя (табл.1.4).

1.5. Техника ручной дуговой сварки

При сварке нижних стыковых швов электрод располагают под углом 70-80° к заготовке для обеспечения равномерного покрытия жидкого металла расплавленным шлаком. Для образования сварного шва (рис.1.5, а) электроду сообщается сложное движение: поступательное вдоль оси со скоростью плавления

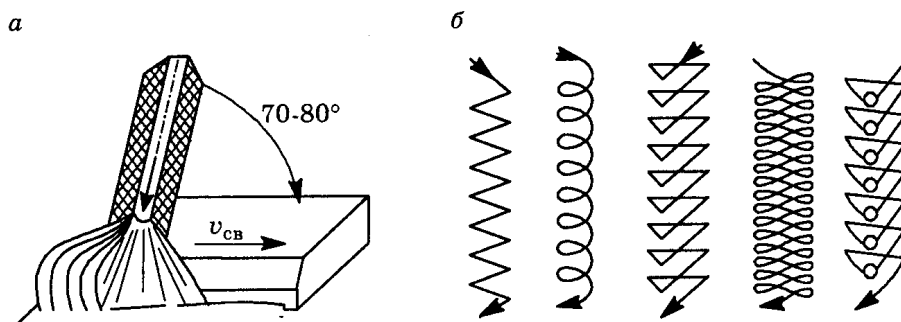


Рис.1.5. Положение (а) и поперечное движение (б) электрода при сварке нижних стыковых швов

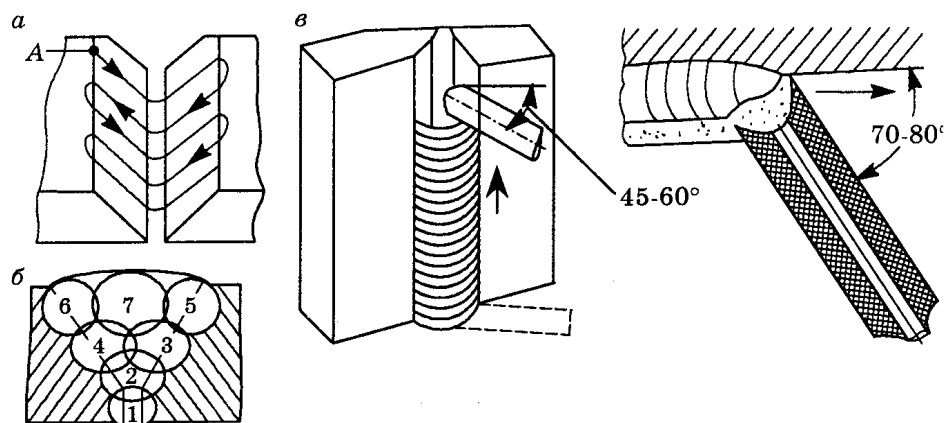


Рис.1.6. Положение и движения электрода при сварке однослойных швов
 стержня для поддержания определенной длины дуги и вдоль кромок со скоростью сварки. Колебание конца электрода поперек шва (рис.1.5, б) необходимо для получения определенной его ширины, хорошего провара кромок и замедления остывания сварочной ванны. Характер колебательных движений определяется формой, размером и положением шва в пространстве. При сварке необходимо внимательно следить за расплавлением кромок основного металла и конца электрода, проваром корня шва и не допускать затекания жидкого шлака вперед дуги.

При сварке однослойных швов (рис.1.6, а) дуга возбуждается на краю скоса кромки (в точке А), а затем перемещается вниз для проваривания корня шва. На скосах кромок движение электрода замедляется для исключения прожога в зазоре. При сварке многослойных швов (рис.1.6, б) особое внимание уделяется качественному выполнению первого слоя с проваром корня шва, определяющего прочность всего шва. Процесс заканчивается заваркой кратера.

Сварка вертикальных швов (рис.1.6, в) выполняется короткой дугой при перемещении электрода снизу вверх и сверху вниз. При сварке горизонтальных швов дуга возбуждается на нижней горизонтальной кромке, а затем переносится на наклонную для поддержания стекающей капли металла. Сварка потолочных швов (рис.1.6, г) выполняется короткой дугой при периодическом замыкании электрода с ванной жидкого металла. Короткие швы длиной до 250 мм сваривают за один проход, т.е. при движении электрода от начала шва к концу. Средние (250-1000 мм) и длинные, более 1000 мм, сваривают за несколько проходов от середины к краям или обратноступенчатым способом.

2. Выбор режима полуавтоматической дуговой сварки в углекислом газе

2.1. Общие сведения.

Сущность процесса дуговой сварки в углекислом газе

Дуговая сварка в углекислом газе является одним из способов сварки в защитных газах. Она (рис.2.1, а) выполняется чаще всего плавящимся электродом — голый электродной проволокой 1

сплошного сечения или порошковой проволокой на постоянном токе обратной

полярности. Защита расплавленного металла сварочной ванны осуществляется струей углекислого газа, подаваемого в зону дуги в зазор между мундштуком 2 и соплом 3 горелки для дуговой сварки.

Углекислый газ CO_2 — бесцветный газ со слабым запахом и плотностью $1,839 \text{ кг/м}^3$. Он тяжелее воздуха, что обеспечивает хорошую защиту сварочной ванны. Поставляется в сжиженном состоянии под давлением 500-600 МПа в стальных баллонах черного цвета. При испарении 1 кг углекислоты выделяется 509 дм^3 газа. Для сварки используется техническая углекислота

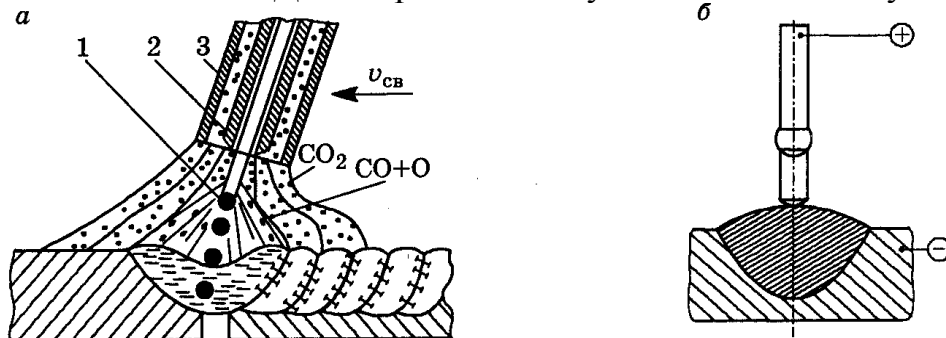
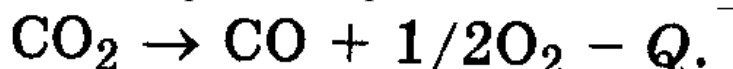


Рис.2.1. Схема процесса сварки (а) и электрической дуги (б) в углекислом газе

первого (99,5% CO_2) и второго сорта (98,5% CO_2). Защитные свойства CO_2 определяются не только его чистотой, но и скоростью струи, зависящей от размеров выходного сопла горелки.

Скорость истечения газа (0,6-1,5 м/с) выбирается такой, чтобы обеспечить ламинарный характер потока с наименьшим перемешиванием газа с воздухом, отсутствие подсоса воздуха и образование воздушных мешков. При чрезмерно большой скорости истечения газа возможно его завихрение, подсос воздуха в зону сварки вследствие инжекции.

Дуга прямого действия в углекислом газе отличается большей стабильностью и имеет возрастающую вольтамперную характеристику (рис.2.1, б). Столб дуги состоит из потока электронов, ионов, возбужденных нейтральных атомов и молекул. В нем непрерывно протекают процессы зарождения (ионизации) и гибели (рекомбинации) заряженных электронов и ионов. Он является сильным излучателем ультрафиолетовых (170-140 нм) и инфракрасных (700-150 нм) лучей. В зоне высоких температур столба дуги углекислый газ диссоциирует по эндотермической реакции



На диссоциацию CO_2 расходуется 20-25% тепловой мощности дуги. В зоне, окружающей столб дуги и имеющей более низкую температуру, постоянно идет процесс рекомбинации (гибели) молекул CO и O_2 , сопровождающийся выделением теплоты.

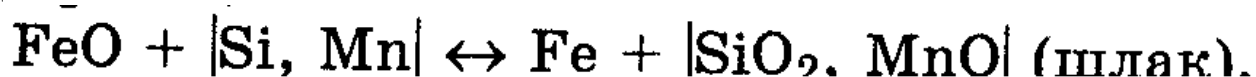
Образующийся в результате диссоциации и попавший в зону сварки кислород и CO_2 окисляют металл сварочной ванны по реакциям



При сварке углеродистых и низколегированных сталей в сварочной ванне

протекают реакции окисления углерода, марганца, кремния и других элементов.

С целью подавления реакций окисления углерода, раскисления металла шва, удаления образующейся закиси железа FeO и предотвращения образования пор сварка в углекислом газе выполняется электродными проволоками марок СВ08ГСА, СВ08Г2С, СВ10ГС, СВ07ГСЮ и другими с повышенным содержанием марганца, кремния и алюминия. При взаимодействии Mn и Si с закисью железа FeO происходит восстановление железа и образование шлака по реакции



Применение порошковой проволоки, состоящей из металлической оболочки, заполненной порошкообразными веществами, способствует повышению эффективности металлургической обработки сварочной ванны и улучшению качества формирования шва.

Сварка самозащитными проволоками (порошковыми и сплошного сечения) выполняется без CO₂ и применяется в монтажных условиях.

Сварка в углекислом газе обеспечивает:

- высокую концентрацию теплоты дуги и большую, чем при ручной дуговой сварке, проплавляющую способность. Это способствует меньшему разогреву кромок, большей скорости сварки, более высокой экономичности, производительности процесса;

- высокую стабильность процесса в широком диапазоне токов;

- стойкость против образования пор и трещин, обусловленную окислительной атмосферой в зоне сварки;

- возможность наблюдения за сварочной ванной и формированием шва.

2.2. Устройство и работа сварочного полуавтомата

Для выполнения дуговой сварки в углекислом газе применяются сварочные полуавтоматы и автоматы. Источниками тока в них чаще всего служат выпрямители с жесткой или пологопадающей внешней характеристикой. Технические данные полуавтоматов для сварки в углекислом газе приведены в табл. 2.1.

Полуавтомат ПДГ-305 (рис.2.2) состоит из горелки 1, механизма подачи электродной проволоки 2, переносного пульта управления 3, сварочного выпрямителя с встроенным блоком управления 4, газового редуктора с расходомером, подогревателя газа, соединительных шлангов и проводов. Поддачи электродной проволоки и защитного газа в зону дуги автоматизированы. Перемещение сварочной горелки вдоль кромок свариваемых заготовок с требуемой скоростью осуществляется оператором вручную.

Горелка служит для направления в зону дуги электродной проволоки и защитного газа и подвода к проволоке сварочного тока. Горелка комплектуется сменными соплами для подвода и направления газа.

Механизм подачи обеспечивает непрерывную подачу в зону дуги электродной проволоки с требуемой скоростью по мере ее расплавления. На нем размещены кассета с электродной проволокой и съемный пульт управ-

ления.

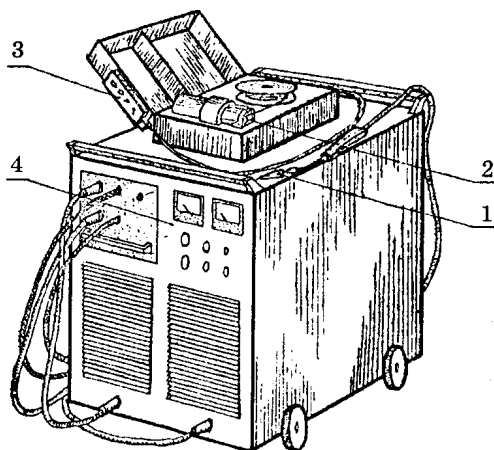


Рис.2.2. Сварочный полуавтомат ПДГ-305

Выпрямитель обеспечивает преобразование трехфазного переменного тока в постоянный с жесткой внешней характеристикой, а также изменение величины сварочного тока и напряжения в требуемых пределах.

Блок управления предназначен для регулирования и стабилизации скорости подачи электродной проволоки, регулирования сварочного тока и напряжения. Газовый редуктор с расходомером дает возможность регулировать и поддерживать постоянным давление и расход углекислого газа. Подогреватель обеспечивает подогрев и улучшение испарения углекислоты и предотвращает замерзание канала прохода газа при перепаде давления.

Настройку полуавтомата на выбранный режим сварки необходимо выполнять в следующей последовательности:

- включить электрическую схему, при этом на блоке управления загорается сигнальная лампа;

- пропустить электродную проволоку через шланг горелки, нажав тумблер перемещения проволоки на переносном пульте управления, и установить требуемый вылет проволоки;

- открыть вентиль баллона с углекислым газом и вращением винта редуктора-расходомера установить требуемые давление и расход газа;

- вращением маховичка потенциометра установить выбранную скорость подачи электродной проволоки;

- вращением маховичка потенциометра установить выбранную величину тока и напряжения сварочной дуги;

- установить горелку под углом $75-80^\circ$ к свариваемым заготовкам на расстоянии 10-25 мм от них;

- нажать включатель на горелке.

При нажатии происходит включение газового клапана и углекислый газ, проходя по системе, вытесняет из нее воздух. Спустя одну секунду включаются выпрямитель и привод подачи проволоки. Электродная проволока подается из кассеты по гибкому направляющему каналу в зону дуги. При замыкании электрода на заготовку зажигается дуга.

2.3. Выбор режима дуговой сварки в углекислом газе

Режим дуговой сварки в углекислом газе определяется силой сварочного тока, полярностью и напряжением дуги, маркой, диаметром и скоростью подачи электродной проволоки, составом и расходом CO_2 , вылетом и наклоном электрода. Режим выбирается в зависимости от толщины и марки свариваемого металла, типа соединения, положения шва в пространстве.

Сила тока и полярность дуги определяют скорость расплавления электродной проволоки, глубину проплавления свариваемого металла. Сила сварочного тока устанавливается в зависимости от выбранного диаметра электродной проволоки. С увеличением тока увеличивается глубина проплавления и повышается производительность сварки.

При дуговой сварке в углекислом газе на постоянном токе обратной полярности увеличивается нагрев электрода, уменьшается глубина проплавления основного металла, увеличивается доля электродного металла в сварном шве. При прямой полярности

скорость расплавления металла заготовок в 1,4-1,6 раза выше, чем при ручной сварке покрытыми электродами, но дуга горит менее стабильно и интенсивнее разбрызгивается электродный металл. Напряжение дуги U_d является основным параметром режима сварки, и его величина автоматически устанавливается в зависимости от выбранного сварочного тока при заданной длине дуги. С увеличением напряжения дуги увеличивается ширина шва l и уменьшается глубина проплавления h_n основного металла.

Марка и диаметр электродной проволоки выбираются в зависимости от свариваемого металла, конструктивных и технологических особенностей сварной конструкции. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяются электродные проволоки марки СВ-08Г2С, СВ-08ГС, СВ-07ГСЮ диаметром 0,8-1,4 мм. Они обеспечивают значительно большую производительность, чем при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, но разбрызгивание электродного металла составляет 5-6%. Для сварки теплоустойчивых сталей применяются электродные проволоки марок СВ-08ХГСМФ, СВ-08ХГСМА. Для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей применяются порошковые проволоки марок ПП-АН4, ПП-АН8, ПП-АН9, ПП-АН10, ПП-АН13, ПП-АН18, ПП-АН20. Самозащитные порошковые проволоки общего назначения ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, СП-1, СП-2 применяются для сварки без защиты конструкций из углеродистых и низколегированных строительных сталей. Самозащитные легированные проволоки сплошного сечения СВ-15ГСТЮЦА и СВ-20ГСТЮА применяются для сварки без защиты углеродистых и марганцовистых сталей и для сварки арматуры периодического профиля.

Скорость подачи электродной проволоки выбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить устойчивое горение дуги. Скорость полуавтоматической сварки устанавливается сварщиком в зависимости от толщины свариваемого металла и площади поперечного сечения шва. Расход углекислого газа выбирается в зависимости от положения шва в пространстве, движения окружающего

воздуха и составляет 5-20 дм³/мин. Вылет электрода $l_{\text{э}}$ – длина электрода между его концом и выходом из мундштука. Он оказывает значительное влияние на устойчивость процесса сварки и качество сварного шва. С увеличением вылета ухудшается устойчивость горения дуги и формирование шва и увеличивается разбрызгивание. При сварке с очень малым вылетом затрудняется наблюдение за процессом сварки и часто подгорают контактный токоподводящий мундштук.

2.4. Технология дуговой сварки в углекислом газе

Для получения качественного сварного шва необходимы поддержание постоянного вылета электрода и стабильной длины дуги, равномерное перемещение горелки вдоль кромок заготовок с заданной скоростью сварки и, при необходимости, колебательные поперечные движения электрода.

Сварка стыковых и нахлесточных соединений в нижнем положении при толщине $S = 0,8-1,2$ мм выполняется при установке заготовок на подкладке или на весу при равномерном поступательном перемещении электрода (рис.2.3, а). Металл толщиной $S < 3$ мм в нижнем положении сваривают без поперечных колебаний электрода, а при $S > 3$ мм применяют эти колебания.

Сварку вертикальных швов с $S < 6$ мм выполняют сверху вниз с наклоном электрода углом назад, направляя дугу на переднюю часть сварочной ванны, что обеспечивает хорошее проплавление кромок и исключает прожоги (рис.2.3, б).

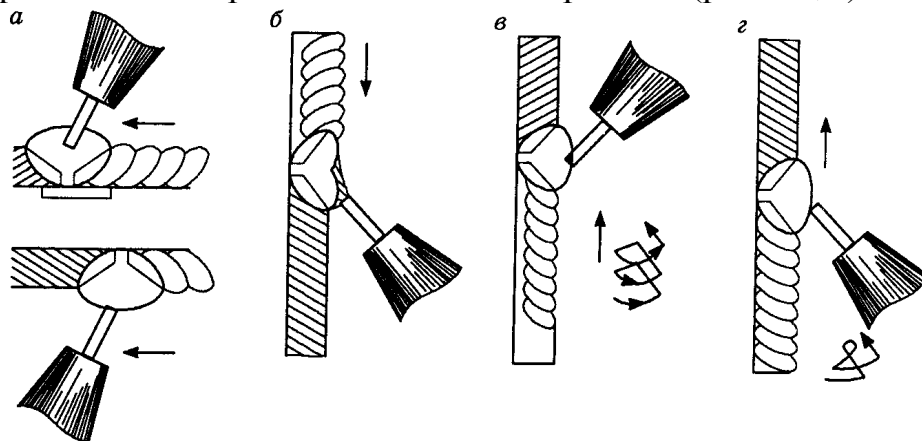


Рис.2.3. Схемы расположения и поперечные колебания электрода при полуавтоматической сварке в углекислом газе

При толщине металла $S > 6$ мм вертикальные швы выполняют при движении электрода вверх с поперечными колебаниями (рис.2.3, в, г).

Потолочные швы сваривают электродом диаметром $d_{\text{э}} = 0,5 - 0,4$ мм углом назад при минимальных значениях тока и напряжения и направлении дуги на ванну жидкого металла.

Полуавтоматическая сварка порошковой проволокой выполняется короткой дугой, так как при увеличении длины дуги усиливается разбрызгивание жидкого металла, ухудшается его защита от кислорода и азота воздуха, усиливается выгорание элементов, содержащихся в проволоке, что приводит к обра-

зованию пор в наплавленном металле.

Кроме того, при увеличении вылета электрода сердечник проволоки перегревается, что приводит к преждевременному выгоранию газообразующих составляющих и образованию пористости шва. Сварка самозащитной легированной проволокой сплошного сечения применяется при монтаже конструкций из сборного и монолитного железобетона на открытых площадках при сооружении объектов промышленного и гражданского строительства, соединении арматуры периодического профиля в любых пространственных положениях, изготовлении тонколистовых конструкций.

2.5. Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с сущностью процесса дуговой сварки в углекислом газе.
2. Изучить устройство и работу сварочного полуавтомата.
3. Выбрать режим сварки стали (марку и толщину указывает преподаватель), провести настройку полуавтомата, выполнить сварку и заполнить табл.2.4.

3. Анализ влияния режима автоматической дуговой сварки под флюсом на форму и размеры шва

3.1. Общие сведения. Сущность процесса дуговой сварки под флюсом

Сварка под флюсом выполняется электрической дугой, горящей под толстым (30-50 мм) слоем гранулированного плавленного или керамического сварочного флюса. Жидкий металл сварочной ванны надежно защищается от взаимодействия с воздухом слоем расплавленного шлака, образующегося при плавлении флюса. Выполняется на переменном и постоянном токе прямой и обратной полярности электродной проволокой без покрытия диаметром 2,0-6 мм посредством сварочного трактора (автоматическая) или сварочной головки (полуавтоматическая).

При автоматической сварке электродная проволока со скоростью, равной скорости ее плавления, подается в зону сварки, осуществляется подача флюса в требуемом количестве и перемещение трактора вдоль кромок свариваемых заготовок с требуемой скоростью сварки (рис. 3. 1, а).

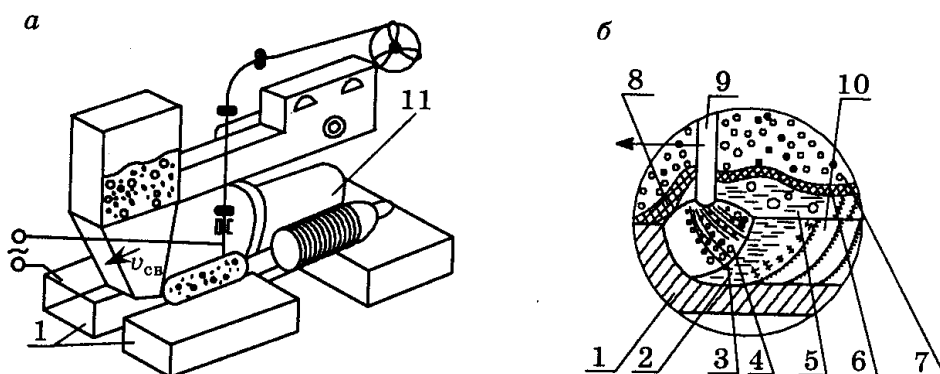


Рис.3.1. Схемы процесса сварки (а) и электрической дуги (б) под флюсом

При горении дуги 3 (рис.3.1, б) расплавляются кромок свариваемых заготовок 1 и электродная проволока 9, образуется сварочная ванна 2, закрытая сверху расплавленным шлаком 5 и коркой отвердевшего флюса 8. Столб и ореол дуги невидимы, и поэтому затруднено визуальное наблюдение за положением конца электрода. Расплавленный шлак, взаимодействуя с жидким металлом

сварочной ванны, насыщает его легирующими элементами (Ca, Mn, Si, Al) и повышает механические свойства.

Выделяющиеся при плавлении флюса пары и газы образуют вокруг дуги замкнутую газовую полость (пузырь) 4. Некоторое избыточное давление газов (~ 700 Па), возникающее при их термическом расширении, оттесняет жидкий металл сварочной ванны в сторону, обратную направлению сварки. Таким образом, у основания дуги (кратера) уменьшается слой жидкого металла. Это способствует более глубокому проплавлению основного металла и позволяет сваривать заготовки толщиной S до 50 мм. Кроме того, снижаются потери теплоты дуги и потери электродного металла на угар и разбрызгивание до 2-4%. По мере перемещения дуги вдоль кромок жидкий металл сварочной ванны застывает и кристаллизуется, образуя сварной шов 10 с литой столбчатой структурой. Жидкий шлак, имея более низкую температуру плавления, затвердевает позже и замедляет охлаждение металла шва. Это способствует выходу на поверхность шва неметаллических включений и газов, получению плотного и однородного по химическому составу металла шва. Сверху поверхность шва покрыта коркой из затвердевшего шлака 6.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом обеспечивает повышение производительности в 5-10 раз в сравнении с ручной дуговой, улучшение качества металла шва, экономию электродного металла и электроэнергии, улучшение условий труда. Она применяется для выполнения длинных стыковых и кольцевых швов в нижнем положении конструкций из углеродистых и легированных сталей, никеля и его сплавов.

3.2. Устройство и работа сварочного автомата

Сварочный автомат типа АДФ-1002УЗ (рис.3.2) предназначен для сварки дугой переменного тока стыковых соединений с разделкой и без разделки кромок, угловых и нахлесточных соединений. Он состоит из сварочного трактора и трансформатора с встроенным блоком управления.

Сварочный трактор представляет собой самоходный механизм, состоящий из электродвигателя, механизма подачи проволоки и ходовой тележки. Трактор перемещается вдоль кромок свариваемых заготовок с заданной скоростью посредством ходового механизма при включении муфты 9. Ходовой 10 и подающий механизмы соединены с двигателем 8 в единый блок, являющийся несущим корпусом автомата. На нем закреплены мундштук 2 для подвода тока к электродной проволоке и направления ее в зону сварки и кронштейн 6 с пультом управления 12. На кронштейне закреплены правый 11 и корректировочный 4 механизмы, кассета 7 для проволоки, бункер 5 для флюса, переднее шасси 1.

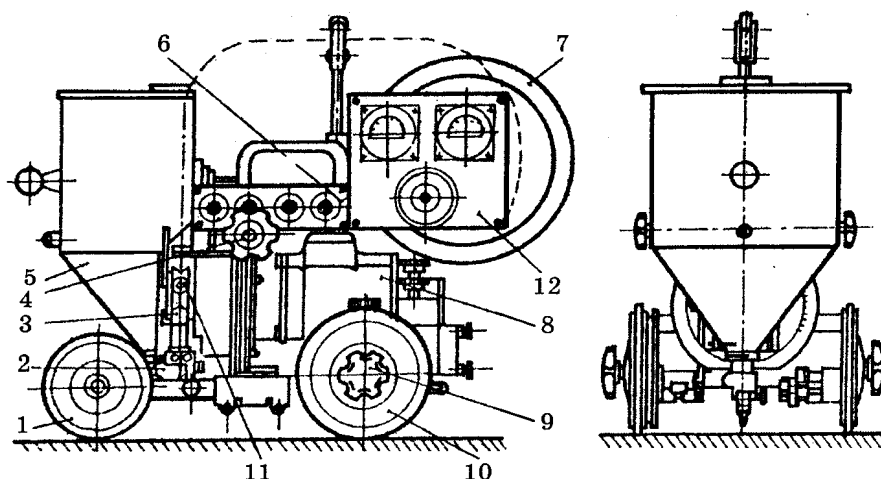


Рис.3.2. Сварочный трактор автомата АДФ-1002 УЗ

Правильный механизм 3 состоит из трех роликов и служит для выпрямления электродной проволоки. Корректировочный механизм 4 предназначен для смещения электрода в поперечном направлении и наклонов мундштука, головки, кронштейна и кассеты.

Пульт управления состоит из вольтметра, амперметра, кнопок "Пуск", "Стоп", "Вверх", "Вниз" и маховичка потенциометра для регулирования сварочного тока.

При нажатии кнопки "Вниз" опускается электродная проволока до упора в заготовку и электрическая цепь закорачивается. При нажатии кнопки "Пуск" включается сварочный ток, возбуждается дуга, осуществляется подача электродной проволоки в зону сварки и передвижение трактора вдоль кромок заготовок. Остановка трактора, выключение сварочного тока и подача проволоки осуществляется нажатием кнопки "Стоп". Подъем проволоки из шлака осуществляется нажатием кнопки "Вверх".

Механизм подачи электродной проволоки состоит из редуктора и двух вращающихся роликов, подающих зажатую между ними проволоку в зону сварки. Бункер предназначен для хранения и подачи флюса в зону сварки. Переднее шасси состоит из траверсы, двух выдвижных штанг с бегунками или копирными роликами. Поворотом маховичка фрикционной муфты, расположенной на валу задних бегунков, можно отключать вал от сцепления с электроприводом и перекатывать трактор вручную для установки его над местом сварки.

Сварочный трансформатор ТДФ-1001 с крутопадающей внешней характеристикой преобразует энергию трехфазной сети в энергию, необходимую для стабильного горения сварочной дуги. Он обеспечивает плавное регулирование тока благодаря повышенной индуктивности рассеяния, которая создается за счет расположения первичной и вторичной обмоток на некотором расстоянии друг от друга и наличия магнитного шунта между ними.

Геометрия сварного шва (рис.3.2) характеризуется: шириной шва e , высотой усиления g , глубиной проплавления основного металла hd , толщиной c . Коэффициенты усиления $\varphi = e/g^*$ и формы шва $\Psi = e/h^{**}$ определяют работоспособность сварного соединения, стойкость металла шва против возникновения кристаллизационных трещин. Соотношение между наплавленным (электрод-

ным) и основным металлом шва характеризуется коэффициентом $\sigma_{\text{осн}} = F_{\text{пр}} / (F_{\text{н}} - F_{\text{пр}})$.

Геометрия сварного шва зависит от режима сварки: силы сварочного тока, напряжения дуги, скорости сварки, диаметра

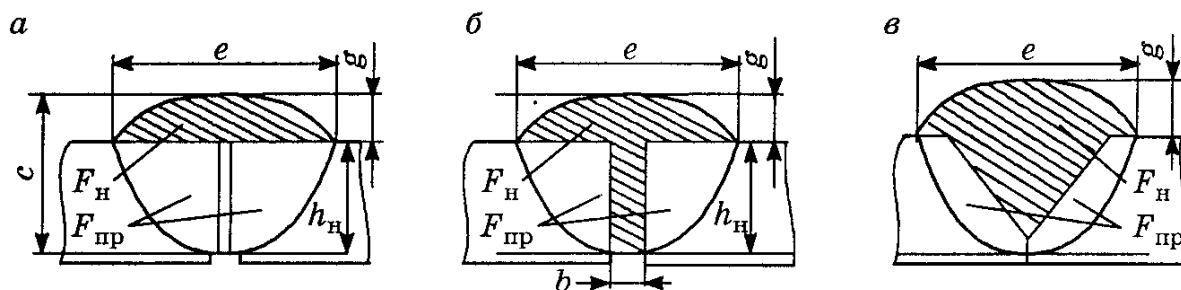


Рис.3.2. Геометрические размеры стыковых швов:

без раздела тока (а); без разделки с гарантированным зазором (б); скорость сварки (в)

электрода, рода тока, состава и грануляции флюса, угла наклона электрода. С увеличением сварочного тока $I_{\text{св}}$ давлением дуги расплавленный металл вытесняется в хвостовую часть сварочной ванны. Под столбом дуги слой жидкого металла уменьшается, глубина проплавления $h_{\text{н}}$ увеличивается, а ширина шва e практически не изменяется (рис.3.2, а). При этом увеличивается количество расплавленного металла, а значит и высота усиления шва. Коэффициенты усиления ϕ и формы шва Ψ при увеличении сварочного тока уменьшаются. Ухудшаются условия дегазации металла в сварочной ванне, повышается склонность металла шва к появлению горячих трещин. Наблюдается резкий переход от основного металла к наплавленному, что снижает работоспособность сварного соединения, в особенности при ударных и знакопеременных нагрузках.

С повышением напряжения дуги U_d увеличивается ее длина, ширина и подвижность. Это обуславливает увеличение ширины шва и уменьшение высоты его усиления (рис.3.2, б). С увеличением подвижности дуги повышается площадь пятна нагрева и, следовательно, усиливается теплоотвод. Это приводит к снижению количества теплоты, идущей на расплавление основного металла, и глубины проплавления.

С увеличением скорости сварки уменьшается ее погонная энергия, снижается ширина шва. Количество наплавленного металла на единицу длины шва с увеличением скорости уменьшается, что приводит к снижению высоты усиления шва (рис.3.3, а).

С увеличением диаметра электрода усиливаются блуждание активного пятна на его торце и активного пятна на заготовке.

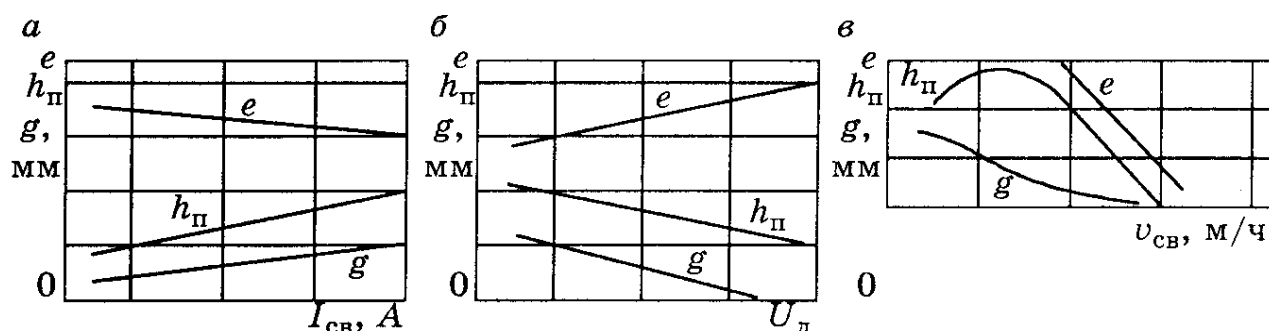


Рис.3.3. Зависимости геометрии шва от силы сварного тока (а), напряжения дуги (б), скорости сварки (в)

При подводе теплоты через большую поверхность увеличиваются ширина шва и теплоотвод, что приводит к уменьшению глубины проплавления.

Род и полярность тока оказывают существенное влияние на глубину проплавления. Сварка на постоянном токе обратной полярности на 40-50, а на переменном — на 25-30% увеличивает глубину проплавления в сравнения со сваркой на постоянном токе прямой полярности.

На геометрию сварного шва оказывают влияние стабилизирующие свойства, вязкость и насыпная масса флюса. При повышении стабилизирующих свойств флюса увеличивается длина дуги и ее подвижность. Глубина проплавления шва при этом уменьшается, а ширина шва увеличивается. В случае применения флюсов с меньшей насыпной массой глубина проплавления уменьшается, а ширина шва увеличивается.

При наклоне электрода "углом назад" ($\alpha > 90^\circ$) давлением столба дуги часть металла оттесняется в хвостовую часть ванны, и глубина проплавления увеличивается. При наклоне электроды "углом вперед" ($\alpha < 90^\circ$) жидкий металл вытесняется в головную часть ванны. Толщина жидкого металла под дугой увеличивается, уменьшается глубина проплавления и высота усиления, ширина шва несколько возрастает.

Форма разделки и зазор между заготовками влияют на количество основного металла в металле шва. Чем они больше, тем меньше количество основного металла. Увеличение параметров разделки приводит к уменьшению высоты усиления и увеличению глубины проплавления.

Выбор режима сварки проводится расчетом и по справочным таблицам.

Марка и грануляция флюса выбираются в зависимости от группы сталей. Для сварки низко- и среднеуглеродистых сталей наиболее часто применяется флюс АН-348А и проволоки СВ-08А или СВ-08ГА. Сварку средне- и высокоуглеродистых сталей выполняют проволоками СВ-08ГА под флюсом АН-348А, ОСЦ-45.

Для сварки низколегированных сталей применяются флюсы АН-348А, ОСЦ-45, АН-60 с проволоками СВ-08А, СВ-08ГА, СВ-10Г2 и др. Состав и примерное назначение флюсов приведены в табл.3.1. Сварку под флюсом высоколегированных сталей выполняют высоколегированными сварочными проволоками на постоянном токе обратной полярности, а сила тока на 10-30% меньше, чем для низкоуглеродистой стали той же толщины.

На предприятиях строительной индустрии для сварки стержней арматуры диаметром 32-40 мм железобетонных конструкций широко применяется полу-

автоматическая дуговая сварка под флюсом ванным методом. Сущность процесса состоит в расплавлении концов стержней и сварочной проволоки СБ08Г2С, СВ10ГА, СБ-10Г2 в графитовых формах под действием теплоты дуги и постепенном заполнении жидким металлом зазора между торцами свариваемых стержней. После установки графитовой формы осуществляется засыпка в нее флюса (АН-348А, АН-348АМ, АН-22, ОСЦ-45) массой 30-40 г на 1 стык. Концом проволоки возбуждают дугу в нижней части торца стержня и оплавливают его (рис.3.4).

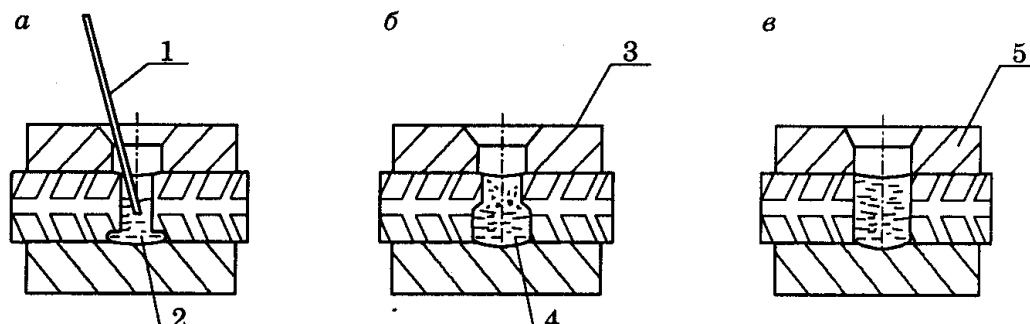


Рис.3.4. Техника ванной сварки в графитовых формах:

***а* — начало процесса; *б* — заполнение пространства между стержнями; *в* — окончание процесса; 1 — электродная проволока; 2 — флюс; 3 — расплавленные флюс; 4 — расплавленный металл; 5 — графитовая форма**

В процессе сварки 2-3 раза подсыпают флюс порциями по 10-15 г, поддерживая необходимую глубину сварочной ванны. Заканчивается процесс сварки перемещением проволоки по периметру шлаковой ванны на расстоянии 6-8 мм от верхней стенки

формы. Форма снимается после потемнения поверхности шлака.

В качестве оборудования для выполнения ванной сварки используются стационарные сварочные полуавтоматы мод. ПДГ-502, ПД-507, ПДГ-508 в комплекте с выпрямителями

ВДУ-504, а для сварки в монтажных условиях — специальный полуавтомат мод. ПДФ-502 УХЛ2.

4. Расчет режима и осуществление контактной стыковой и точечной сварки низкоуглеродистой стали

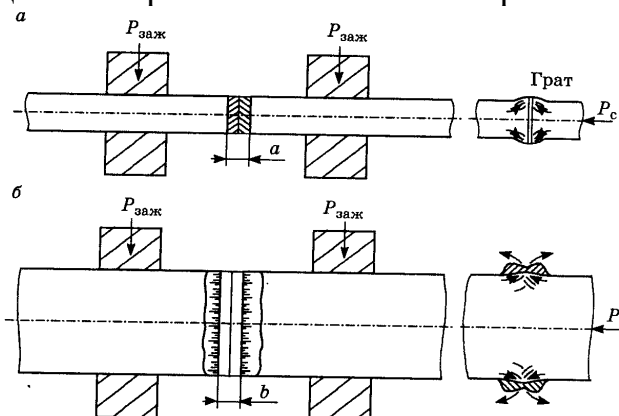
При контактной сварке соединение осуществляется за счет нагрева их теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте заготовки и приложении к ним давления. В зависимости от формы сварного соединения и способа выполнения контактная сварка разделяется на стыковую сопротивлением, непрерывным оплавлением, точечную и шовную.

При сварке сопротивлением чисто обработанные торцы заготовок, закрепленных в зажимах сварочной машины, приводят в плотное соприкосновение (рис.4.1, а) и включают

сварочный ток. После разогрева их до пластического состояния (1100-1300 °С) прикладывают усилие $P_{ос}$ и производят осадку на необходимую величину o

одновременным выключением сварочного тока. В результате совместной пластической деформации торцов происходит образование сварного соединения с вытеснением оксидных пленок и включений из стыка в грат, который затем удаляется механической обработкой.

При стыковой сварке непрерывным оплавлением (рис.4.1, б) закрепленные в зажимах машины свариваемые заготовки сближаются при включенном токе. Возникающие электрические контакты-перемычки взрывоопасно



разрушаются при

Рис.4.1. Схемы процесса стыковой сварки:

а — сопротивлением; б — непрерывным оплавлением

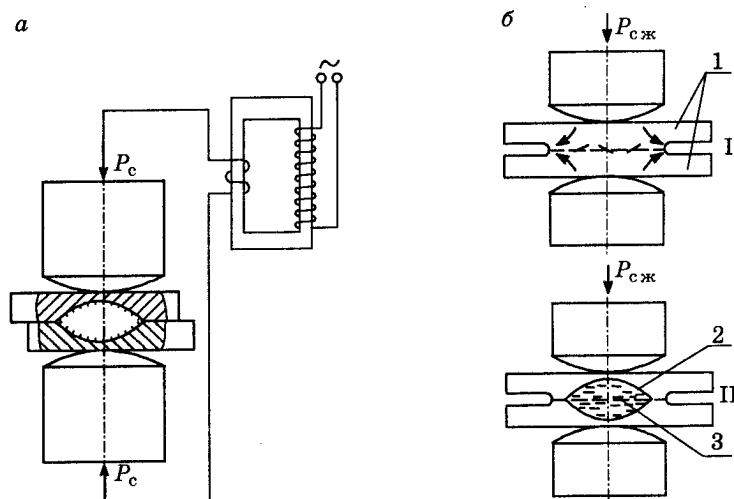


Рис.4.2. Схемы процесса (а) и образования сварного соединения (б)

при точечной контактной сварке: 1 — начало; II — конец

плавления с выбросом оксидов и частиц металла и образованием на торцах небольших кратеров с расплавом. После оплавления торцов на величину b производится их осадка на величину a и отключение тока.

При сварке прерывистым оплавлением заготовки периодически приводят в контакт и отводят с тем, чтобы оплавление происходило только на части поверхности. При точечной контактной сварке соединение образуется на участках, ограниченных площадью торцов, подводящих ток и передающих усилие сварки Рис. (рис.4.2, а).

После сжатия листовых заготовок 1 усилием $P_{сж}$ (рис.4.2, б) включают ток и пропускают его для разогрева места контакта до расплавления металла с образованием литого ядра 2, общего для обеих заготовок. После отключения тока происходят кристаллизация жидкого металла точки под давлением и обра-

зование сварного соединения 3. После подъема верхнего электрода заготовки перемещаются и устанавливаются против электродов в новом положении.

Машина для стыковой сварки МС-802 представлена на рис.4.3. Она предназначена для сварки сопротивлением и оплавлением заготовок из углеродистой стали сечением до 1300 мм^2 и состоит из корпуса 1 с левой 2 и правой 14 дверцами, неподвижного зажима 6, подвижного зажима 7, пружинного привода осадки 9, связанного с подвижным зажимом шаровым шарниром 8. Внутри корпуса размещены трансформатор 3, блок управления с электромагнитным контактором 4, блок пускателя, система охлаждения. Неподвижный зажим закреплен на плите корпуса и изолирован от нее прокладкой 5. Подвижный зажим установлен на перемещающейся штанге, ось

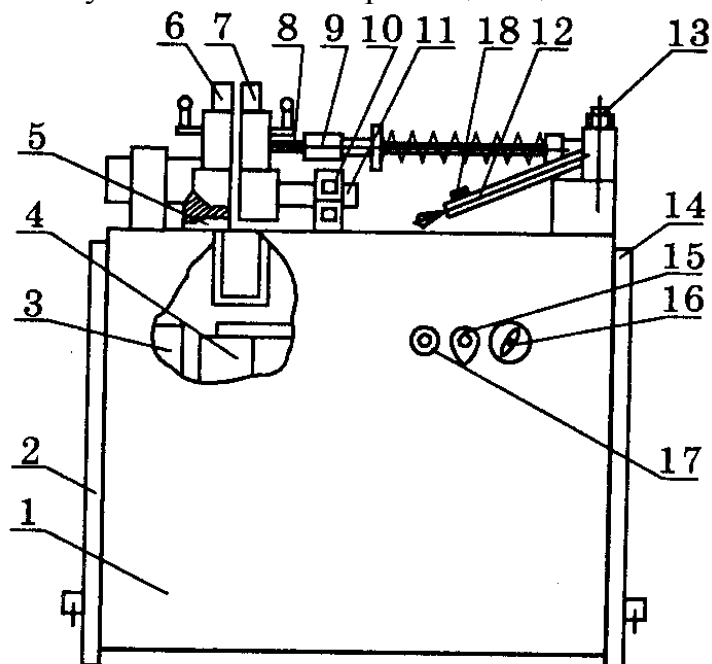


Рис.4.3. Машина для стыковой сварки МС-802

Машина точечная МТ-601 (рис.4.4) предназначена для сварки низкоуглеродистой стали толщиной 0,2-2 мм. Она состоит из корпуса 5, рычага с верхней электродной частью 2, электрододержателя с электродами 3, сварочного кронштейна с нижней электродной частью 4, сварочного трансформатора с переключателем ступеней 1, пневматического привода сжатия электродов 6, регулятора цикла сварки. Верхний электрододержатель, регулируемый по высоте, зажимает свариваемые заготовки, а при дальнейшем перемещении педали 7 включается двухполюсный электромагнитный контактор. Регулятор цикла сварки обеспечивает плавное регулирование продолжительности сварки и пауз.

Для точечной сварки крупногабаритных заготовок применяются подвесные точечные машины (клещи) со встроенным трансформатором. Они могут иметь радиальный и прямолинейный ход электродов. Конструкции клещей весьма разнообразны и они изготавливаются с учетом размеров и формы свариваемых заготовок. Их технические данные приведены в табл. 4.3.

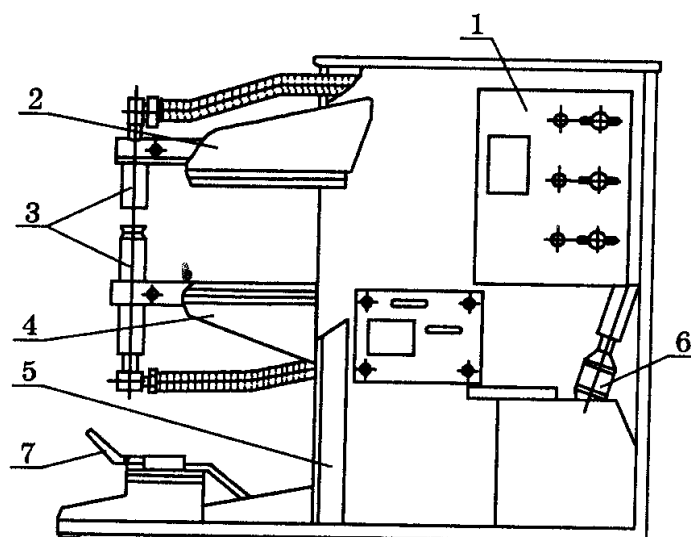


Рис.4.4. Машина для точечной сварки МТ-601

Общий вид подвесной точечной машины (клещей) со встроенным трансформатором R6421T (Франция) показан на рис.4.5. Машина состоит из верхнего неподвижного рычага 6 с электрододержателем и регулируемым по длине электродом 8, нижнего подвижного рычага 7 со сменным электродом 9, корпуса 10, его поворотной части 5, встроенного трансформатора 3, пневмоцилиндра 2, рукоятки 1 с кнопками управления, кронштейна

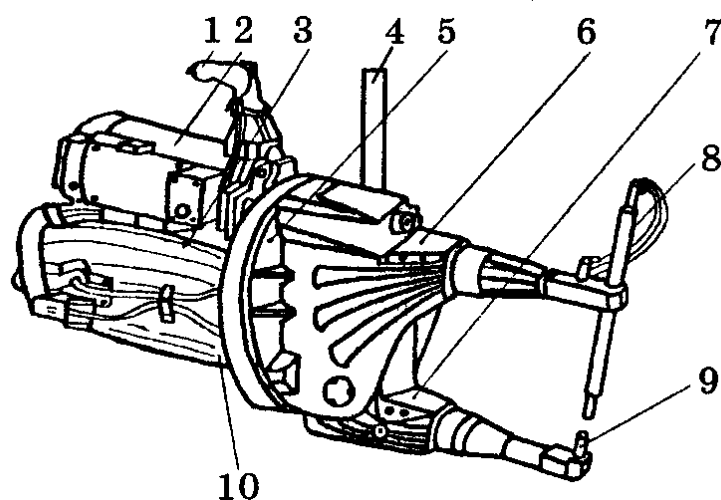


Рис.4.5. Подвесная точечная машина (клещи) R6421T (Франция) подвески 4, выносного пульта управления. Машина позволяет сваривать крупногабаритные конструкции из листов толщиной до 5 мм.

4.3. Выбор режима стыковой и точечной контактной сварки

Основными параметрами режима стыковой, сварки сопротивлением являются установочная длина $l_1 + l_2$, припуск на осадку a , сила или плотность тока I , время нагрева t , усилие осадки $P_{ос}$. Стержни диаметром $d < 10$ мм сваривают встык сопротивлением, а при $d > 30$ мм — оплавлением с подогревом. Стержни диаметром $d > 80-100$ мм сваривают оплавлением с программированием напряжения или импульсным оплавлением. Основными параметрами режима сварки оплавлением являются установочная длина $l_1 + l_2$, припуск на оплавление b , припуск на осадку a , скорость оплавления и осадки, сила тока оплавления и осадки,

давление осадки (табл.4.5-4.7).

Основными параметрами режима точечной сварки являются диаметр и форма рабочей поверхности электродов, сила сварочного тока $I_{дв}$, время сварки $t_{св}$, усилие сжатия электродов.

Режимы точечной сварки низкоуглеродистых сталей и алюминиевых сплавов приведены в табл.4.8-4.10.

Таблица 4.8

Размеры рабочей поверхности электродов для точечной сварки, мм

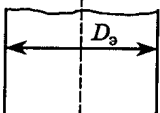
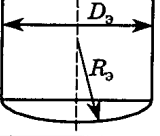
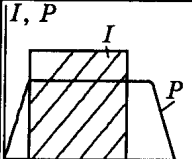
Толщина заготовки, мм	Эскиз рабочей части электрода	Свариваемые металлы				
		углеродистые и легированные стали			алюминий и его сплавы	
		$D_э$	$d_э$	$R_э$	$D_э$	$R_э$
0,5		12	4	25-50	16	50
1		12	5	75-100	16	75
1,5		16	7	100-150	20	75-100
2		20	8	100-150	20	100
3		25	10	100-200	25	100-150
4		25	12	200-250	32	200
5		25	12-14	200-250	32	200

Таблица 4.9

Режим точечной сварки низкоуглеродистой стали

Толщина заготовок, мм	Схема цикла	Сварка одноимпульсная с давлением	Режим		
			сила тока I , кА	время сварки t , с	усилие сжатия P , кН
1	2	3	4	5	6
0,5		постоянным	6-6,5	0,05-0,1	1,2-1,8
1,0			7-8	0,12-0,16	2,5-3,0
1,5			9-10	0,16-0,22	4,0-5,0
2			10-11,5	0,18-0,24	6,0-7,0
3			11,5-14	0,24-0,3	9,0-10,0
4			17-19	0,4-0,56	13,0-15,0

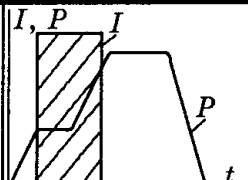
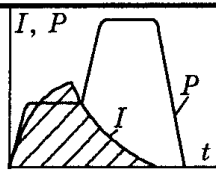
1	2	3	4	5	6
6		переменным	28,2	0,47	23,0
8			32	0,44	32,0
10			34	0,62	35,0

Таблица 4.10

Режим точечной сварки алюминиевых сплавов

Толщина заготовок, мм	Схема цикла	Характеристика процесса сварки	Режим		
			сила тока I , кА	время сварки t , с	усилие сжатия P , кН
0,5		Импульсы меняющегося тока с переменным давлением	18	0,1	1,9
1,0			22	0,12	2,5
1,5			27	0,14	3,5
2			32	0,18	5,0

На предприятиях строительной индустрии для контактной стыковой сварки и мерной резки стержней арматуры для железобетона применяются механизированные линии К777, К819 и др. На линии К819 механизированы процессы извлечения арматурного стержня из пачки, подготовки торца и боковых поверхностей для сварки, подача и установка их в электроды сварочной машины К724А, сварка, удаление грата, резки мерных стержней, счет и складирование готовых изделий. Линия может быть оборудована автономным блоком контроля параметров режима сварки.

5. Изучение процесса газокислородной сварки и резки

5.1. Общие сведения. Сущность процесса газовой сварки и резки, строения газосварочного пламени.

При газовой сварке расплавление кромок свариваемых заготовок 1 и присадочного металла 2, а также защита жидкого металла сварочной ванны от кислорода и азота воздуха осуществляется газосварочным пламенем 3. Оно образуется при сжигании смеси горючего газа с кислородом на выходе из мундштука горелки 4 (рис.5.1, а).

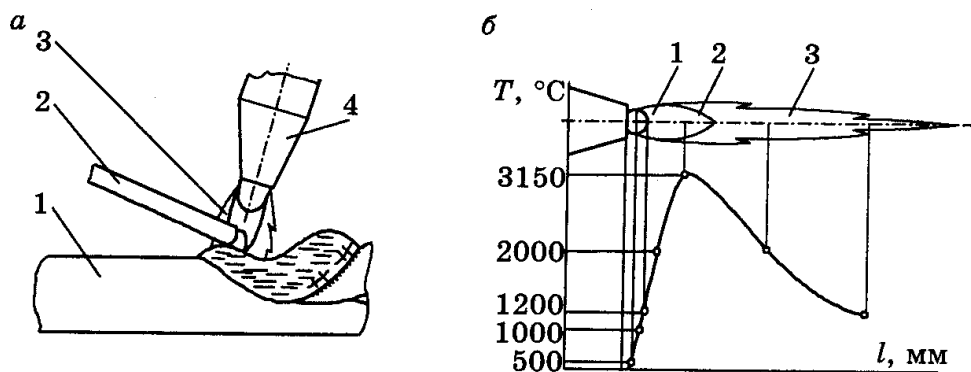


Рис.5.1. Схемы процесса газовой сварки (а) и ацетилено-кислородного пламени (б)

Сварку выполняют нормальным ацетилено-кислородным пламенем, имеющим наиболее высокую температуру до 3150 °С.

Таким пламенем можно сваривать углеродистые и низколегированные стали толщиной 0,5-12 мм. Горючий газ (ацетилен C_2H_2) — это бесцветный газ с характерным запахом, благодаря примесям сернистого и фтористого водорода. Он взрывоопасен при нагревании до 460-500 °С, давлении 0,14-0,16 МПа и в смеси с кислородом, содержащей 2,8-93 % C_2H_2 . В некоторых случаях для сварки, а особенно для резки, используют другие горючие газы, дающие при

горении смеси с кислородом иную температуру пламени: водород — 2400-2600 °С, пропанобутановая смесь — 2400-2500 °С, метан — 2100-2200 °С, природный газ — 2000- 2300 °С. Кислород способствует интенсивному горению газа и получению высокой температуры *сварочного пламени*. Нормальное пламя (рис.5.1, б) состоит из трех ярко выраженных зон: ядра 1, восстановительной зоны 2 и факела 3. Нагрев и расплавление

основного и присадочного металлов выполняют центром восстановительной зоны, где обеспечивается более высокая температура. Находящиеся в этой зоне газы СО и Н₂ могут восстанавливать образующиеся оксиды металлов.

В нормальном пламени объемное соотношение кислорода и ацетилена составляет $\beta = \text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2 = 1,1-1,3$. Окислительное пламя ($\beta = \text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2 > 1,3$) применяется для резки, а науглероживающее ($\beta = \text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_2 < 1$) для сварки цветных металлов и чугуна.

Тепловая мощность газосварочного пламени определяется расходом горючего газа в дм³/ч. Она выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и зависит от номера наконечника горелки.

При газовой сварке легированных сталей, цветных металлов, их сплавов, чугуна для раскисления металла шва и перехода в шлак неметаллических включений и примесей применяют флюсы: кислые (борную кислоту Н₃ВО₃, буру Na₂ВO₄) и основные (K₂O, Na₂O и др.).

Газокислородная резка (рис.5.5, в) основана на способности металла или сплава сгорать (окисляться) в струе технически чистого кислорода не расплавляясь. Для осуществления процесса резки необходимо выполнение следующих условий:

- 1) температура плавления металла должна быть выше температуры его воспламенения (окисления);
- 2) температура плавления оксидов металла должна быть ниже температуры плавления металла;
- 3) образующиеся оксиды металла должны быть достаточно жидко-текучими и легко удаляться струей режущего кислорода;
- 4) тепловая мощность подогревающего пламени должна быть достаточной для разогрева металла заданной толщины, а теплопроводность металла должна быть незначительной.

Этим условиям полностью удовлетворяют только низкоуглеродистые и низколегированные стали. Легированные и высоколегированные стали, чугуны, медные и алюминиевые сплавы

обычной газокислородной резкой не разделяются. Для их резки применяется кислородно-флюсовая или, лучше, плазменнодуговая резка.

5.2. Устройство и работа оборудования сварочного поста газовой сварки

В оборудование поста ацетилено-кислородной сварки входят ацетиленовый генератор, баллон кислорода с редуктором, горелка для газовой сварки, шланги для подвода ацетилена и кислорода к горелке, рабочий стол сварщика.

Ацетиленовый генератор предназначен для получения ацетилена разложе-

нием водой карбида кальция CaC_2 по реакции



Теоретически для разложения 1 кг CaC_2 надо затратить 0,662 кг воды, при этом выделяется около 370 дм³ ацетилена и 1,156 кг гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$. По способу контактирования карбида кальция с водой различают генераторы систем: КБ — карбид в воду, ВК — вода на карбид, ВВ — вытеснения воды и комбинированные — ВК и ВВ. Кроме ацетиленовых применяются газогенераторы водородно-кислородной смеси.

На рис.5.2 показан переносной ацетиленовый генератор среднего (до 0,15 МПа) давления системы ВВ производительностью 1,25 м³/ч типа АСВ 1,25-3, предназначенный для ремонтных и монтажных работ. Генератор состоит из корпуса, разделенного на две части: верхнюю — газообразователь 4 и нижнюю — промыватель 1. Они связаны между собой трубой 10 со стаканом 9. В газообразователь вставлена шахта 5. Корпус генератора заполняется водой до верхнего края трубы 10 (9 л). В шахту через горловину вставляется корзина 6 с карбидом кальция массой 2,2 кг. После опускания корзины и закрытия генератора крышкой 8 с винтовым зажимом 7 вода смачивает карбид кальция, а образующийся ацетилен собирается в газообразователе 4. Из него по трубе 10 ацетилен поступает в промыватель 1, проходит через слой очистительной массы и воды и далее через предохранительный клапан 3 по шлангу 2 в водяной затвор II. Из затвора через ниппель 12 по шлангу ацетилен

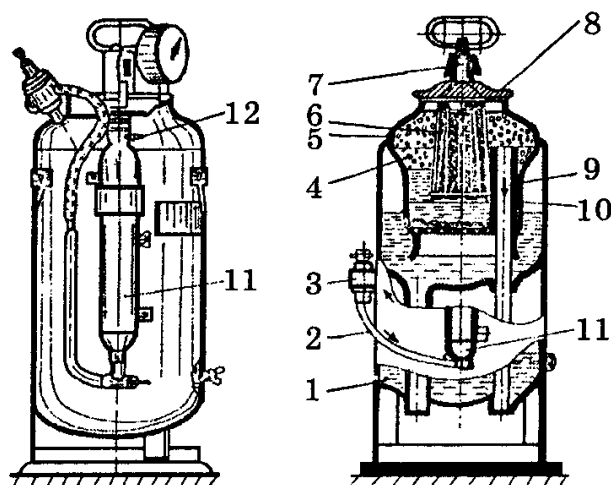


Рис.4.2. Ацетиленовый генератор среднего давления АСВ 1,25-3

поступает в горелку или резак. Количество выделяющегося ацетилена автоматически регулируется вытеснением воды в пространство между корпусом и шахтой при усилении газообразования и обратным поступлением воды в шахту при снижении давления ацетилена в газообразователе по мере его расхода.

Предохранительный порошковый или водяной затвор предназначен для защиты генератора и газопровода от обратного удара сварочного пламени или взрывной волны. Действие водяных затворов открытого и закрытого типов основано на том, что взрывная волна и пламя, движущиеся навстречу потоку горячего газа, выводятся в атмосферу или гасятся внутри затвора. Схемы работы водяного затвора среднего

давления закрытого типа показан на рис.5.3.

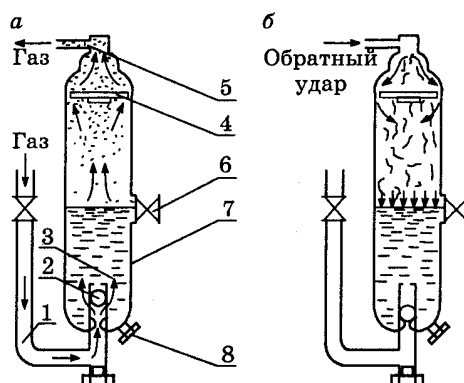


Рис. 5.3. схемы работы водяного затвора среднего давления закрытого типа: а — при нормальной работе; б — при обратном ударе

Затвор через наливной штуцер заполняют водой или незамерзающей жидкостью до уровня контрольного крана 6. При нормальной работе ацетилен проходит по трубке 1 через обратный клапан 2, приподнимая шарик, в корпус 7 через слой воды и через ниппель к сварочной горелке. При обратном ударе взрывная волна давит на воду, обратный клапан 2 закрывается и преграждает доступ взрывной волне и воде в газоподводящую трубку 1. Проходя узкий зазор между стенкой корпуса и краем диска 4, отраженная взрывная волна гасится. Слив воды из затвора проводится через штуцер 8. После каждого обратного удара надо проверять уровень воды в затворе и в случае необходимости доливать ее.

Кислород к месту сварки подается обычно в стальных баллонах голубого цвета с черной надписью "Кислород". В баллоне емкостью 40 дм³(л) при давления газа 15 МПа содержится 6000 дм³ или 6 м³ газа. Для снижения высокого давления находящегося в баллоне кислорода до рабочего (0,1-0,4 МПа) и поддержания его постоянным в процессе сварки применяют редуктор. Он навинчивается на баллон и закрепляется накидной гайкой. Схема одноступенчатого редуктора с давлением газа на выходе 0,1-1,5 МПа показана на рис. 5.4.

Работа редуктора основана на взаимодействии между мембраной 7 и пружиной 8, стремящихся открыть клапан 1, и сил сжатия пружины 4 и давления газа, передаваемых на мембрану 7

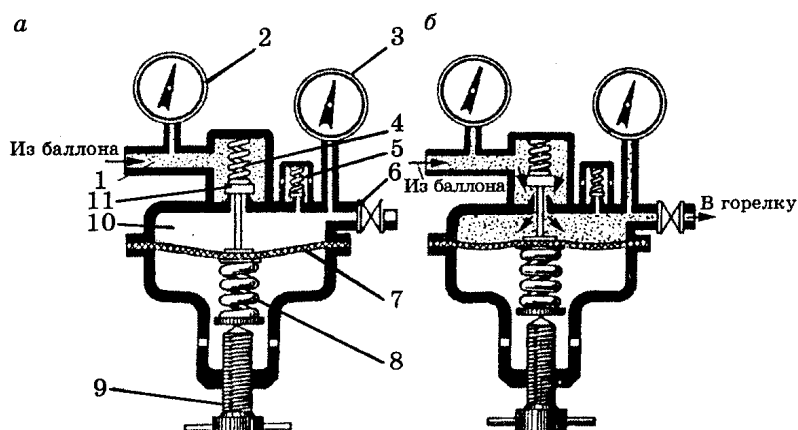


Рис.5.4. Схема устройства и работа одноступенчатого газового редуктора:
а — нерабочее положение; б — рабочее положение

и стремящихся закрыть клапан. Рабочее давление в камере низкого давления б регулируется вращением винта 9, изменяющего силу сжатия пружины 8, и ограничивается предохранительным клапаном 5. Из камеры низкого давления газ через кран поступает в горелку. Редуктор снабжен двумя манометрами, один из которых показывает давление газа в баллоне, а другой — рабочее давление газа. Если количество газа, уходящего из камеры б, больше, чем поступающего в нее, то давление в камере понизится. При этом пружина 8 начнет удлиняться и деформировать мембрану 7, клапан 1 откроется и в камеру б увеличится поступление газа из баллона. Снижение расхода газа в процессе сварки вызовет повышение давления в камере б, давление на мембрану 7 возрастет, она изогнется в противоположную сторону и сожмет пружину 8. Клапан 1 будет закрываться и поступление газа уменьшится.

Горелка, для газовой сварки предназначена для образования смеси из горючего газа с кислородом в требуемом соотношении и получения направленного сварочного пламени необходимой мощности. По принципу работы горелки для газовой сварки разделяются на горелки низкого и высокого давления. Горелки второго типа просты по конструкции и обеспечивают постоянный состав горячей смеси, но имеют ограниченное применение в связи с необходимостью подачи кислорода и ацетилена под давлением (0,1-0,3 МПа), который получают в газогенераторах.

Широко применяемые *горелки низкого давления* со встроенным инжектором (рис.5.5, а, б) работают по принципу *инжекции* (всасывания) горючего газа кислородом. В них кислород под давлением 0,1-0,4 МПа поступает по шлангу в ниппель 1 и далее по трубке 4 через вентиль 5 в инжектор 8. Выходя из инжектора с большей скоростью (300 м/с), он вызывает разрежение в каналах 2 и 3, вследствие чего сюда всасывается ацетилен, под-

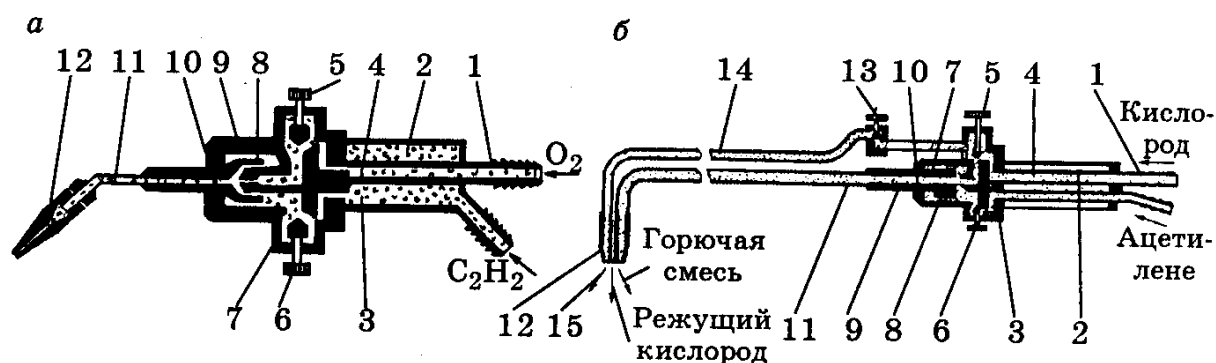


Рис.5.5. Схемы горелки низкого давления со встроенным инжектором (а) и инжекторного резака (б)

водимый при низком давлении, но не ниже 0,001 МПа. Смешивание газов происходит в камере 10 и наконечнике II. Образовавшаяся смесь на выходе из мундштука 12 горелки поджигается и образует сварочное или подогревающее пламя. Регулирование состава смеси осуществляется вентилями 5 и 6. Сменные наконечники II крепятся к корпусу 7 горелки накидной гайкой 9. Инжекторные сварочные горелки выпускаются малой мощности (типа ГС-2 "Звездочка"), средней мощности (ГС-3 "Звезда") и большой мощности (типа ГС-4).

Резаки для кислородной резки предназначены для смешивания горючего газа с кислородом, образования подогревающего пламени и подачи к разделяемому металлу струи чистого кислорода 15 через вентиль 13 и трубку 14 (рис.5.5, б).

Резаки классифицируют по:

роду горячего газа — для ацетилена, газов-заменителей, жидкого горючего (керосин, бензин);

принципу действия — инжекторные и безинжекторные;

давления кислорода — высокого и низкого давления;

виду резки — разделительной, поверхностной, кислороднофлюсовой;

назначения — универсальные, специализированные;

типу мундштука — с кольцевым подогревом, щелевые, многосопловые, сетчатые.

Из ручных резаков наибольшее применение получили резаки "Факел", "Пламя-02", РМП-62, РПК-2, РПА-2, РАХ-1, позволяющие разрезать металл толщиной 3-300 мм.

5.3. Выбор режима и технологии газовой сварки

В режим газовой сварки входят расходы горючего газа и кислорода, тип горелки и номер наконечника, способ сварки, углы наклона горелки и проволоки, марка и диаметр присадочной проволоки.

Расход горючего газа при сварке ацетилено-кислородным пламенем определяется как $W_{C_2H_2} = KS$, дм³/ч, где K — удельный коэффициент ($K = 80-150$ для низкоуглеродистой, $70-120$ — для легированной стали, $110-300$ — для меди, $150-200$ — для чугуна); $S = 0,5-12$ — толщина свариваемого металла, мм.

Расход кислорода при сварке нормальным пламенем.

$$W_{O_2} = (1,1 - 1,3)W_{C_2H_2}, \text{ дм}^3/\text{ч}.$$

По расходам горючего газа и кислорода выбирается тип горелки и номер наконечника (табл.5.1).

Способ сварки выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла S и положения шва в пространстве. Сварку металла при $S < 5$ мм нижним и вертикальным швом выполняют левым способом (рис.5.6, а). Нижние и потолочные швы при толщине металла $S > 5$ мм выполняют правым способом (рис.5.6, б).

При левом способе горелка перемещается за присадочным металлом, сварочное пламя направлено на кромки, шов и сварочная ванна остаются сзади. Пламя свободно растекается по поверхности металла, что снижает опасность появления его прожога и пережога.

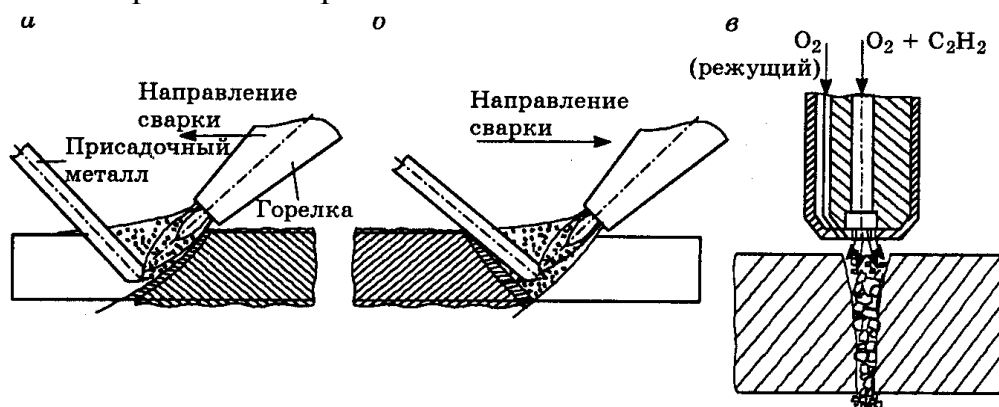


Рис.5.6. Способы газовой сварки (а — левый, б — правый) и резки (в)

При правом способе горелка перемещается впереди присадочной проволоки. Сварочное пламя направлено на формирующийся холодный шов. Его растекание ограничено кромками заготовок и направленным валиком, что значительно снижает рассеивание теплоты и повышает коэффициент использования пламени. Угол наклона горелки выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла (рис.5.7).

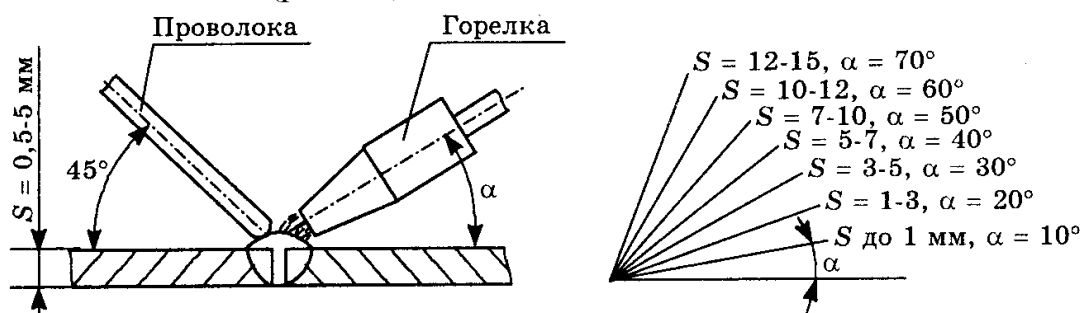


Рис.5.7. Угол наклона сварочной горелки

Выбор марки и диаметра сварочной проволоки выполняется в зависимости от марки и толщины свариваемого металла и способа сварки. При сварке углеродистых сталей применяют сварочные проволоки Св08, Св10, Св10ГС диаметром 0,2-12 мм. Диаметр проволоки определяется при $S < 5$ мм, как $d_{пр} = S/2 + 1$ мм;

при $S > 5$ мм, как $d_{пр} = S/2$ мм.

Сварку металлов толщиной менее 2 мм проводят встык с отбортовкой кромок без присадочного металла или встык без зазора и разделки кромок, но с присадочным металлом. При толщине металла 2-5 мм сварку выполняют встык

с зазором без разделки кромок. При еще большей толщине применяется разделка кромок.

Технология резки. Процесс резки начинают с нагрева металла в начале реза до температуры воспламенения металла в кислороде. Затем пускают режущий кислород путем отворачивания соответствующего вентиля и перемещают резак по линии реза.

6. Контроль качества сварных соединений

6.1. Общие сведения. Дефекты сварных соединений

Дефектами называют отклонения выполненных сварных соединений от соответствия их техническим нормам и требованиям (рис. 6.1). Их появления снижают прочность и работоспособность сварных соединений. К ним относятся: дефекты формы и размеров сварных швов, наружные и внутренние макроскопические дефекты, дефекты микроструктуры.

К дефектам формы и размеров шва (рис.6.2) относятся неравномерность ширины и высоты усиления шва, неполномерность шва, бугристость, седловины и т.д. Их выявляют внешним осмотром и обмером швов. Недостаточное сечение шва снижает его прочность, а при чрезмерно большом — увеличиваются внутренние напряжения и деформации.

К макроскопическим наружным и внутренним дефектам (рис.6.3) относятся: наплывы, чешуйчатость, подрезы, прожоги, трещины, непровары, шлаковые включения, поры.

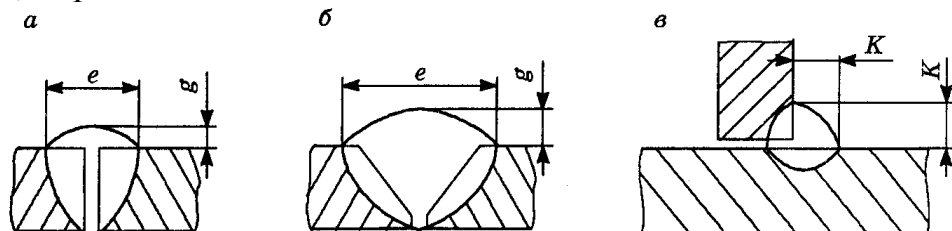


Рис.6.1. Сварные соединения без дефектов: *а* — стыковые без разделки кромок; *б* — стыковые с разделкой кромок; *в* — тавровые

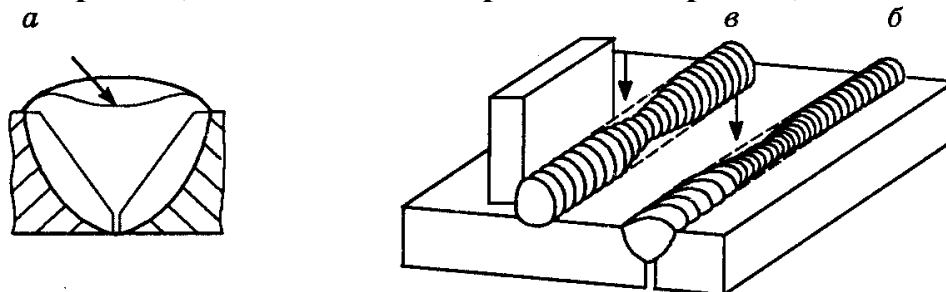


Рис.6.2. Дефекты формы и размеров шва:

а — неполномерность шва; *б* — неравномерность ширины стыкового шва; *в* — неравномерность катета углового шва по длине

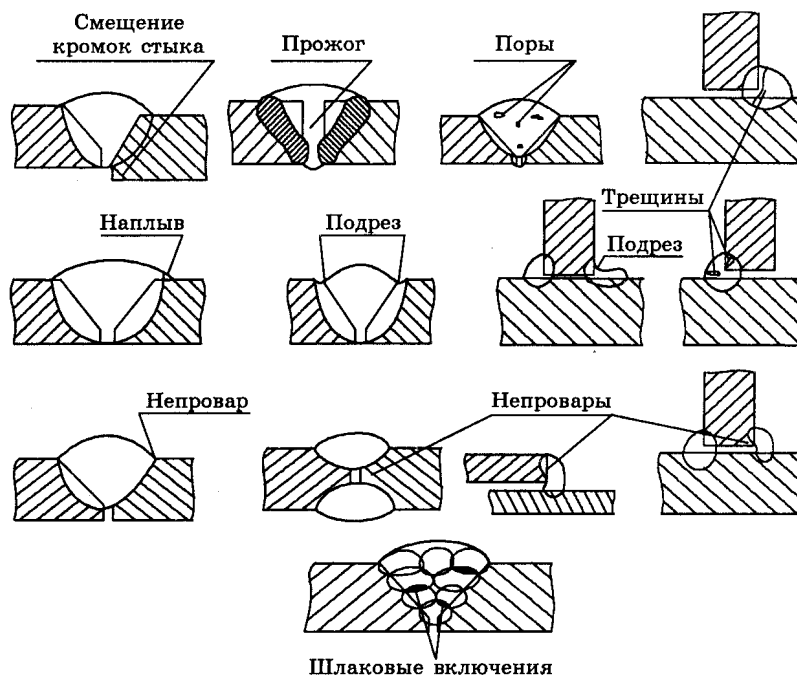


Рис.6.3. Макроскопические дефекты сварных соединений

Наплывы появляются при отекании наплавленного металла на кромки не-прогретого основного металла вследствие большой силы сварочного тока, длинной дуги, неправильного наклона электрода. Удаляют их абразивным кругом или пневматическим зубилом.

Чешуйчатость поверхности шва образуется при сварке некачественными электродами, неравномерном перемещении электрода, горелки или присадочной проволоки. Устраняется удалением поверхностного слоя шва с последующей наплавкой до установленного размера.

Подрезы — углубления вдоль шва на основном металле из-за избытка подводимой теплоты, неправильного положения электрода или горелки, неравномерной подачи присадочного металла. Подрезы заваривают тонкими валиковыми швами.

Прожоги — сквозное проплавление основного или наплавленного металла вследствие большого зазора между свариваемыми кромками, недостаточного притупления кромок, чрезмерно большой силы сварочного тока при небольшой толщине заготовок. Выявляют их внешним осмотром.

Трещины возникают в шве и околошовной зоне вследствие больших усадочных и структурных напряжений в металле из-за неравномерного его нагрева, охлаждения и усадки, повышенного содержания серы, фосфора, углерода, чрезмерно жесткого крепления свариваемых заготовок. Наружные трещины выявляются внешним осмотром, после чего их засверливают по концам, проводят разделку и заваривают. Швы с внутренними трещинами вырубают и заваривают вновь.

Непровар — местное несплавление основного металла с наплавленным и недостаточная глубина проникновения наплавленного металла в основной. Возможен из-за низких значений сварочного тока или мощности горелки, большой скорости сварки, смещения электрода или горелки к одной из кромок, малых зазора и угла скоса кромок, плохой зачистки кромок от ржавчины, окалины, загрязнений. Непровар устраняют зачисткой с последующей завар-

кой.

Шлаковые включения образуются из-за загрязнения основного и присадочного металлов оксидами, ржавчиной, неравномерного плавления покрытия электрода длинной дугой, недостаточном сварочном токе и чрезмерно большой скорости сварки. Они ослабляют сечение шва и снижают его прочность.

Пористость шва появляется вследствие значительного содержания газов в жидком металле, которые при быстром охлаждении не успевают выйти наружу и образуют пустоты сферической формы. При выходе пор на поверхность шва образуются свищи. Сквозные поры приводят к неплотности швов. На образование пор влияют: ржавчина, масло, загрязнения на свариваемых кромках, вредные примеси в защитном газе, влажный или отсыревший флюс, большая скорость сварки, повышенное содержание углерода в основном металле.

Макроскопические дефекты выявляют внешним осмотром невооруженным глазом или при увеличении до 15 раз с помощью лупы. По результатам осмотра можно судить о местах расположения и характере внутренних дефектов. Так, подрез на одной из сторон и наплыв на другой указывают на непровар кромок.

В месте малого зазора между свариваемыми кромками может образоваться непровар, а при большом зазоре — прожог. Перекосы и смещения кромок и большая высота шва могут также привести к непровару. Узкие швы с глубоким проваром более склонны к образованию трещин, чем широкие швы с небольшим проваром.

6.2. Микроанализ сварного соединения. Строение зоны термического влияния

Микроанализ сварного соединения выполняют с помощью оптического микроскопа с увеличением 50-2000 раз на образцах микрошлифах, вырезанных из сварного изделия или конструкции. Образцы должны включать сварной шов, зону термического влияния и основной металл, не подвергшийся нагреву. Исследуемая поверхность тщательно зачищается абразивной шкуркой, полируется и протравливается 4%-ным раствором HNO_3 (для углеродистых сталей).

При микроисследовании выявляются строение и структура металла шва и зоны термического влияния, размеры и форма зерен, а также дефекты микроструктуры: перегрев и пережог металла, нитридные и кислородные включения, микропоры и микротрещины.

Сварное соединение состоит из металла шва и основного металла, подвергшегося термическому воздействию. Металл шва образуется при сплавлении основного и присадочного металлов. После затвердевания его структура обычно состоит из столбчатых кристаллов (дендритов), которые являются продолжением зерен основного металла на линии сплавления, и размер их определяет сечение дендритов.

Зона неполного расплавления примыкает непосредственно к металлу шва. Металл в этой зоне в процессе нагрева находится в твердожидком состоянии, и его структура может содержать не расплавленные и частично оплавленные зерна основного металла. К зоне сплавления примыкает зона перегрева, где основной металл нагревается до температур 1100-1300 °С.

В зоне *перегрева* 1 структура металла состоит из крупных зерен аустенита, подвергшихся перегреву. В случае наличия окислительной среды возможно и окисление границ зерен, т.е. *пережог* металла. Это наиболее опасный и неисправимый дефект микроструктуры. Швы с таким дефектом должны вырезаться и завариваться вновь, а при невозможности этого конструкция должна выбраковываться. В зоне 5, где основной металл нагревается до 200-500° С, на его поверхности возможно появление синих цветов побежалости. Здесь может происходить *выпадение* из твердого раствора очень *мелких частиц* различных *примесей*, что приводит к снижению пластичности и ударной вязкости. На работоспособность

сварной конструкции это оказывает малое влияние в связи с отсутствием концентрации напряжений. Структура не отличается от основного металла и состоит из зерен феррита и перлита.

Общая ширина зоны термического влияния при ручной дуговой сварке составляет 3-6 мм, сварке в защитных газах — 1-3 мм, под флюсом — 2-4 мм, электрошлаковой сварке — 11-14 мм, газовой сварке — 20-30 мм.

Плотность (непроницаемость) сварных швов контролируют керосином, воздушным или гидравлическим давлением, вакуумированием, аммиаком, газо-электрическими течеискателями.

При *контроле керосином* сварной шов с доступной стороны покрывают водным раствором мела или каолина. После его высыхания обратную сторону шва обильно смачивают керосином. Появление желтых участков на окраске указывает на неплотности шва. Отдельные точки указывают на наличие пор и свищей, а полосы — на сквозные трещины или непровары в шве.

При *контроле давлением газа* в герметичный сосуд или трубопровод от сети или из баллона подается сжатый воздух или инертный газ под давлением на 10-20% больше рабочего. Сварной шов промазывают водным раствором мыла. Появление пузырьков свидетельствует о неплотности шва.

При *контроле гидравлическим давлением* в герметичном сосуде, заполненном водой, с помощью насоса или гидравлического пресса создается давление в 1,5-2 раза больше рабочего. Дефекты определяют по появлению течи, просачиванию воды, запотеванию поверхности шва или вблизи него.

При *контроле вакуумированием* на сварной шов, смоченный пенообразующим раствором, устанавливается переносная вакуум-камера. При откачивании воздуха из камеры она плотно прижимается к поверхности изделия. При наличии пор, трещин, свищей образуются воздушные пузырьки.

При *контроле аммиаком* (способ С.Т.Назарова) в сосуд подается смесь воздуха с аммиаком под давлением 0,05-0,1 МПа. Снаружи на шов накладывают бумажную ленту, смоченную 5%-ным водным раствором азотной кислоты или фенолфталеина. При негерметичности шва аммиак проходит через его окрашивает ленту в ярко-красный цвет с фиолетовым оттенком.

Магнитографический контроль основан на фиксации на магнитную ленту полей рассеяния, возникающих над дефектными участками шва при его намагничивании (рис.6.4), и последующего считывания записи с ленты с регистрацией электрического сигнала или видимого изображения магнитных полей на

экране электроннолучевой трубки дефектоскопа.

Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых волн с частотой более 20 кГц проникать в металл на большую глубину и отражаться с различной интенсивностью от сред с разными акустическими свойствами. Отраженные колебания улавливаются, преобразуются в электрические и, после их усиления, подаются на экран электронно-лучевой трубки дефектоскопа. По характеру импульса судят о протяженности дефектов и глубине их залегания.

Люминесцентный метод контроля применяется для выявления поверхностных дефектов в швах из немагнитных материалов (нержавеющей стали, титана, алюминия). Он основан на способности некоторых веществ светиться под воздействием ультрафиолетового облучения. На проверяемую поверхность наносят горячую смесь автола (25%) и керосина (75%) и выдерживают в течение 15-20 мин. После сушки на поверхность шва наносят слой порошка люминофора и рассматривают его в ультрафиолетовом свете дефектоскопа ЛД-2 или кварцевой лампы. Дефекты выявляют по яркому желто-зеленому стечению.

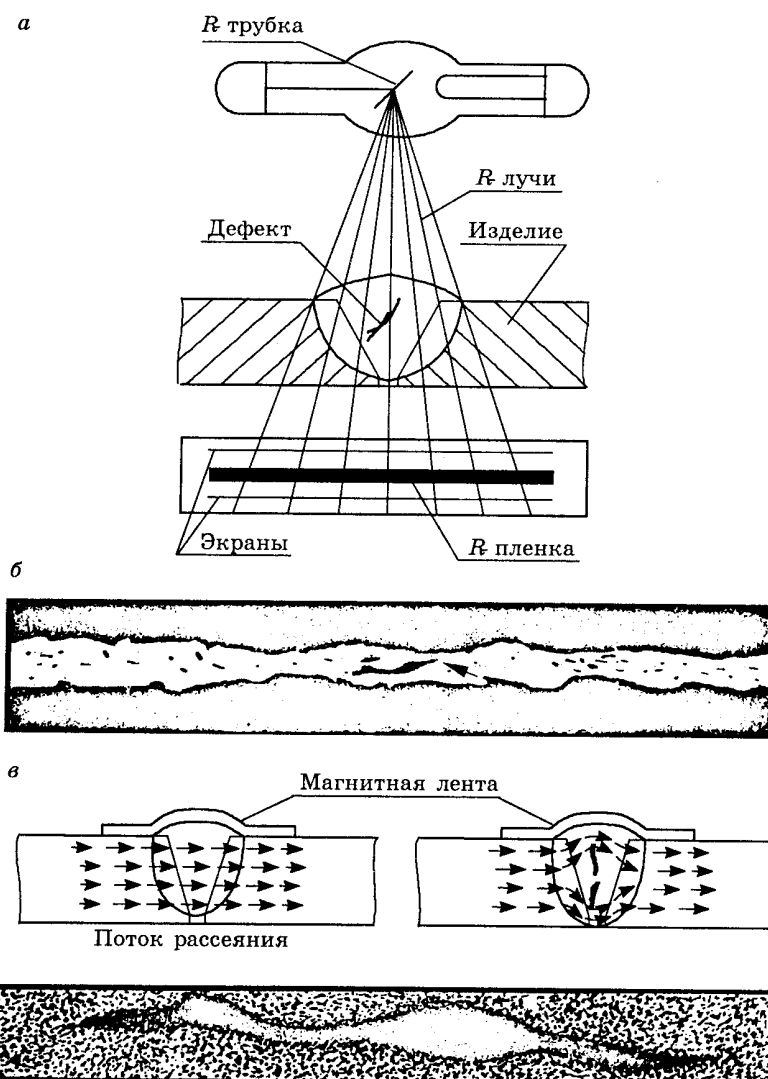


Рис.6.4. Схема контроля сварного соединения: *а* — просвечиванием рентгеновскими лучами; *б* — рентгенограмма шва; *в* — намагничиванием