

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В. М. Капцевич, В. К. Корнеева**

**ПРАКТИКА ОЗНАКОМИТЕЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ.  
СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ**

Минск  
БГАТУ  
2025

УДК 621.791(07)  
ББК 30.61я7  
К20

**Рецензенты:**

кафедра «Технология и методика преподавания»  
Белорусского национального технического университета  
(старший преподаватель *Е. И. Михасик*);  
доктор технических наук, профессор,  
заместитель генерального директора по научной работе  
ГНПО порошковой металлургии *Е. Е. Петюшик*

**Капцевич, В. М.**

К20      Практика ознакомительная инженерная. Сварочные работы :  
учебно-методическое пособие / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева. –  
Минск : БГАТУ, 2025. – 76 с.  
ISBN 978-985-25-0314-3.

Приведены теоретические основы сварки металлов, технология и техника выполнения сварочных работ, используемое оборудование и инструмент, что позволяет обучающемуся приобрести практические навыки ручной дуговой сварки при прохождении ознакомительной инженерной практики.

Для обучающихся агротехнических специальностей общего высшего образования.

**УДК 621.791(07)**  
**ББК 30.61я7**

**ISBN 978-985-25-0314-3**

© БГАТУ, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ .....	6
1.1. Общие сведения о сварке металлов .....	6
1.2. Дуговые методы сварки .....	11
1.3. Контактные способы сварки.....	30
2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКОЙ .....	36
2.1. Подготовка деталей под сварку.....	36
2.2. Выбор режимов при сварке покрытыми электродами.....	38
2.3. Технология выполнения ручной дуговой сварки .....	39
2.4. Дефекты сварочных соединений и причины их возникновения .....	47
3. СВАРОЧНАЯ МАСТЕРСКАЯ КАФЕДРЫ .....	51
3.1. Рабочий пост сварщика.....	51
3.2. Инструменты и принадлежности электросварщика.....	52
3.3. Оборудование сварочной мастерской .....	53
4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СВАРОЧНЫХ РАБОТ .....	67
5. ПЛАН ПРОХОЖДЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ПРАКТИКИ. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА .....	71
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	74

## ВВЕДЕНИЕ

Теоретическое обучение и практика – две неразрывно связанные стороны процесса познания. При изучении теоретического курса «Материаловедение и технология конструкционных материалов» студенты изучают строение материалов, взаимосвязь их структуры со свойствами, осваивают методы управления структурой и свойствами материалов, изучают процессы получения заготовок и их обработки. В процессе практической подготовки студенты осваивают технологические процессы и приемы получения заготовок и изделий с требуемыми свойствами на практике.

Прохождение ознакомительной инженерной практики является одной из важнейших составляющих подготовки высококвалифицированных специалистов, способных решать задачи в области эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники и сельскохозяйственного машиностроения. Сварочные работы – неотъемлемая часть учебной практики, которая проводится на базе учебных мастерских кафедры технологии металлов учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет».

Сварочные работы широко применяются в различных отраслях народного хозяйства страны: машиностроении, строительстве, сельском хозяйстве и др. Сварка является одним из самых распространенных способов соединения различных металлических деталей и конструкций, поскольку обеспечивает очень высокую прочность готовых изделий. Как правило, физико-механические характеристики сварного шва не уступают аналогичным параметрам основного материала деталей, а во многих случаях и превосходят их.

Современный уровень техники, находящейся в распоряжении сельского хозяйства, позволяет при помощи сварки восстанавливать большую часть изношенных деталей автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин.

В соответствии с квалификационными требованиями современный инженер должен иметь глубокие теоретические знания и определенные практические навыки. Знание основ сварочного дела, умение выполнять основные сварочные операции являются составной частью профессиональной подготовки инженеров сельскохозяйственного производства.

Учебно-методическое пособие содержит следующие разделы: теоретические основы сварки; практические основы выполнения

сварочных работ ручной дуговой сваркой; сварочная мастерская кафедры; техника безопасности при выполнении сварочных работ. В конце пособия представлен подробный план прохождения сварочной практики и указания по оформлению отчета, а также список рекомендуемой литературы.

Учебно-методическое пособие по сварочным работам разработано в соответствии с программой учебной ознакомительной инженерной практики для студентов дневной и заочной форм получения образования для специальностей 6-05-0812-01 «Техническое обеспечение производства сельскохозяйственной продукции», профилизация «Технические средства и технологии»; 6-05-0812-02 «Техническое обеспечение хранения и переработки сельскохозяйственной продукции», профилизация «Технологическое оборудование для переработки сельскохозяйственной продукции»; 6-05-0812-03 «Технический сервис в агропромышленном комплексе», профилизация «Технический сервис машин и оборудования»; 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве», профилизация «Охрана труда в АПК».

*Целью* сварочной практики является закрепление теоретических знаний студентов по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и приобретение практических навыков в области сварки металлов.

*Задачи* сварочной практики:

- ознакомление студентов с организацией рабочего места сварщика, инструментами и оборудованием сварочной мастерской;
- приобретение навыков выбора режимов сварки и освоение технологии ее выполнения;
- обучение студентов выполнению различных сварочных соединений ручной дуговой сваркой.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРКИ

## 1.1. Общие сведения о сварке металлов

Сварка широко используется в современном машиностроении, электронике, строительстве. Применение сварки при создании различных конструкций позволяет более эффективно использовать прокат, поковки и отливки, на изготовление которых расходуется около половины всей выплавляемой стали.

**Сварка** – это процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании (ГОСТ 2601–84).

По способу установления межатомных связей между соединяемыми частями виды сварки подразделяют на две группы: сварка плавлением и сварка давлением.

**Сварка плавлением** – сварка, осуществляемая плавлением кромок свариваемых деталей без приложения давления. В результате оплавления кромок соединяемых деталей между ними образуется общая жидкая ванна из расплавленного металла. При дальнейшем ее охлаждении и кристаллизации создаются прочные атомно-молекулярные связи и происходит соединение деталей в единое целое.

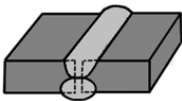
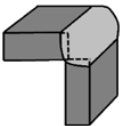
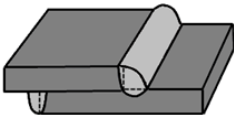
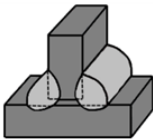
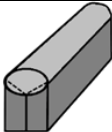
**Сварка давлением** – сварка, осуществляемая за счет пластической деформации контактирующих поверхностей соединяемых деталей при температуре, как правило, ниже температуры плавления. При приложении нагрузки происходит пластическое течение металла в зоне контакта, приводящее к смятию микронеровностей и изменению рельефа поверхностей, разрушению и вытеснению загрязнений из зоны контакта. В результате этого происходит сближение соединяемых поверхностей на межатомное расстояние и образование прочных атомно-молекулярных связей. Пластическое деформирование металла в твердом состоянии требует значительных усилий, поэтому для их уменьшения применяют подогрев зоны контакта, приводящий к повышению пластичности металла в десятки раз.

**Сварным соединением** называют участок конструкции, в котором отдельные ее элементы соединены с помощью сварки.

По форме сопряжения свариваемых элементов различают следующие типы сварных соединений: стыковые, тавровые, угловые, нахлесточные и торцовые (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Типы сварных соединений (ГОСТ 2601–84)

Тип соединения	Определение соединения	Схема соединения
Стыковое	Сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями	
Угловое	Сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев	
Нахлесточное	Сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно друг другу и частично перекрывают друг друга	
Тавровое	Сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом к боковой поверхности другого элемента и приварен к ней	
Торцовое	Сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу	

**Сварной шов** – участок сварного соединения, образовавшийся в результате плавления и последующей кристаллизации расплавленного металла (при сварке плавлением) или в результате пластической деформации и последующей диффузии (при сварке давлением). Сварной шов является связующей частью соединяемых элементов, определяет геометрическую форму, сплошность, прочность и другие свойства металла непосредственно в месте сварки.

По форме поперечного сечения сварные швы подразделяют на стыковые, угловые и точечные (рис. 1.1). Стыковой шов – сварной шов стыкового соединения (рис. 1.1, а). Угловой шов – сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединений (рис. 1.1, б). Точечный (прорезной) шов – сварной шов нахлесточного соединения, в котором

связь между сваренными частями осуществляется сварными точками (рис. 1.1, в).

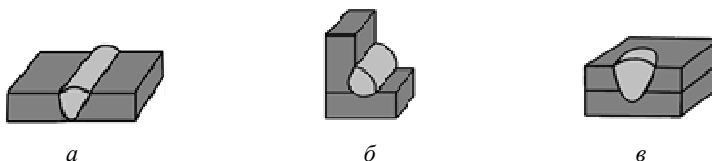


Рис. 1.1. Классификация сварных швов по форме поперечного сечения:  
а – стыковой; б – угловой; в – точечный (прорезной)

По пространственному положению (с учетом международных стандартов) различают следующие сварные швы: *горизонтальные* и *вертикальные* (на вертикальной плоскости), *потолочные* и *нижние* (рис. 1.2).

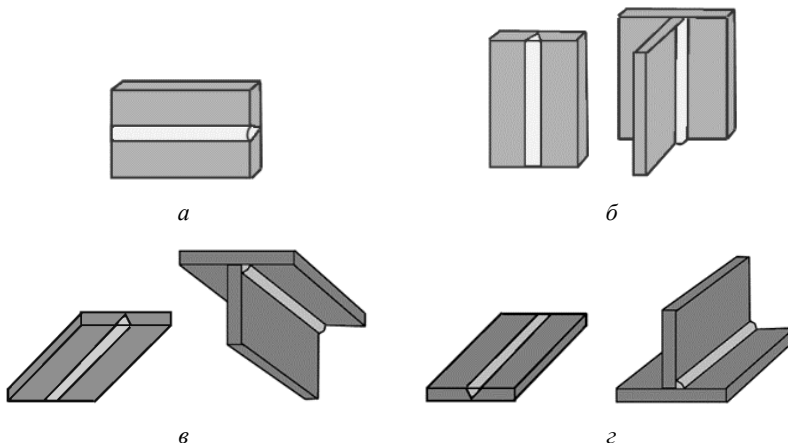


Рис. 1.2. Классификация сварных швов по положению в пространстве:  
а – горизонтальный; б – вертикальные; в – потолочные; г – нижние

**Свариваемость** – технологическое свойство, характеризующее способность металлов и сплавов образовывать надежные в эксплуатации сварные соединения. Металлы и сплавы обладают различной способностью к свариваемости. Свариваемость металлов зависит от их природы и особенностей применяемого метода сварки.

Свариваемость – сложное, комплексное свойство материалов. Его нельзя определить с помощью одного испытания или по одной мето-



дике. Оценка свариваемости непосредственно связана с характеристикой материала и условиями его эксплуатации. Однако некоторые критерии оценки свариваемости являются достаточно общими для многих металлов и сплавов. Наилучшей свариваемостью обладают металлы с хорошей взаимной растворимостью, высокой теплопроводностью, незначительным коэффициентом линейного и объемного расширения и малой усадкой.

Количественным показателем свариваемости стали, которая является основным материалом для получения сварных конструкций, служит эквивалентное содержание углерода  $C_3$ , %. Оно равно количеству углерода и легирующих элементов в стали и определяется по формуле

$$C_3 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Si}{24}.$$

В зависимости от эквивалентного содержания углерода (и связанной с этим склонностью к закалке и образованию трещин) *стали* по свариваемости делят на четыре группы.

К группе 1 (хорошая свариваемость,  $C_3 < 0,25$  %) относятся стали, сварка которых может быть выполнена без их подогрева (до сварки и в процессе сварки) и без последующей термообработки. При этом для снятия внутренних напряжений не исключается применение термообработки.

К группе 2 (удовлетворительная свариваемость,  $C_3 = 0,25 \text{ \%} - 0,35 \text{ \%}$ ) относятся преимущественно стали, при сварке которых в нормальных производственных условиях трещины не образуются, а также стали, которые для предотвращения трещин нуждаются в предварительном подогреве и последующей термообработке.

К группе 3 (ограниченная свариваемость,  $C_3 = 0,36 \text{ \%} - 0,45 \text{ \%}$ ) относятся стали, склонные к образованию трещин в обычных условиях сварки. Их предварительно подвергают термообработке и подогревают. Большинство сталей этой группы термически обрабатывают и после сварки.

К группе 4 (плохая свариваемость,  $C_3 > 0,45 \text{ \%}$ ) относятся стали, наиболее трудно сваривающиеся и склонные к образованию трещин. Их обязательно подвергают предварительной термообработке, подогревают в процессе сварки и осуществляют последующую термообработку.

Свариваемость основных марок сталей представлена в табл. 1.2.

Таблица 1.2

## Классификация сталей по свариваемости

Группа	Свариваемость	Сталь	
		углеродистая	легированная
1	Хорошая	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, 08, 10, 20, 12кп, 15кп, 20кп	15Г, 20Г, 15ХМ, 10ХСНД, 10ХГСНД, 15ХГСНД
2	Удовлетвори- тельная	Ст5, 30, 35	12ХН2, 14Х2МР, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХМ
3	Ограниченная	Ст6, 40, 45, 50	35Г, 40Г, 45Х, 30ХГСА, 40ХМФА, 30ХГСМ
4	Плохая	65, 70, 80, У7, У8, У9, У10	50Г, 8ХЗ, 45ХНЗМФА, 5ХНТ

Чугун относится к категории плохо свариваемых сплавов. Детали из чугуна сваривают при ремонте деталей и исправлении дефектов в отливках. При сварке чугунных изделий металл шва получает структуру белого чугуна, а зона термического влияния закаливается. Это затрудняет механическую обработку сварных соединений и может привести к образованию трещин. Поэтому сварку чугунных изделий выполняют с предварительным подогревом свариваемых деталей до температуры 400 °С–700 °С.

Трудности, возникающие при сварке *медных* изделий, связаны с высокой теплопроводностью меди и ее пониженной стойкостью к порообразованию в швах. Высокая теплопроводность меди (в 6 раз больше, чем у стали) требует более концентрированного нагрева (значительная величина теплового расширения меди приводит к существенным тепловым деформациям и напряжениям). Поэтому при сварке меди часто возникает необходимость в предварительном и сопутствующем подогреве основного металла.

Проблемами, возникающими при сварке изделий из *латуни*, являются значительная потеря цинка (вследствие его испарения) и поглощение газов жидким металлом. Испарение цинка связано с низкой температурой его кипения. Чтобы уменьшить теплоотвод от сварочной ванны и создать условия для более полного удаления из нее растворившихся газов, целесообразно нагревать основной металл перед сваркой до температуры 250 °С–300 °С.

Свариваемость *бронзовых* изделий в значительной степени зависит от состава бронз. Особые трудности вызывает сварка изделий из литейных оловянных бронз. Их предварительно нагревают, но не перегревают, поскольку избыточное олово, оставшееся на границах зерен, при перегреве легко расплавляется и снижает прочность наплавленного металла. В связи с этим сварку изделий из литейных оловянных бронз производят чаще всего газовой сваркой (нормальным ацетиленокислородным пламенем с замедленным охлаждением металла).

Трудности при сварке изделий из *алюминиевых* и *магниевого* сплавов обусловлены образованием тонких прочных и тугоплавких оксидных пленок, которые имеют более высокую температуру плавления и большую удельную плотность, чем основной металл. Так, температура плавления  $Al_2O_3$  равна 2050 °C, а  $MgO$  – 2800 °C. Это приводит к тому, что при сварке деталей пленки оксидов препятствуют сплавлению кромок. Для осуществления процесса сварки нужного качества необходимо удалять оксиды с поверхности кромок (механическая зачистка, специальное травление) до и в процессе сварки.

Наиболее часто применяется сварка деталей из сплавов алюминия и магния в среде инертных газов (аргон, гелий) вольфрамовым или плавящимся электродом. Оксидная пленка в этом случае разрушается под воздействием ударов положительно заряженных ионов аргона или гелия. В ряде случаев для соединения деталей из этих сплавов используют и другие виды сварки (электронно-лучевую, холодную, а также ультразвук, взрывом и трением).

## 1.2. Дуговые методы сварки

По простоте и универсальности ни один вид сварки пока не может конкурировать с дуговой сваркой (на нее приходится более 60 % всего объема сварочных работ).

**Дуговая сварка** – сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой.

Источником теплоты при дуговой сварке является *электрическая (сварочная) дуга* – мощный устойчивый электрический разряд между электродом и заготовкой, находящийся в среде ионизированных газов и паров. В зависимости от материала электродов и их числа, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие виды дуговой сварки (рис. 1.3):

– *сварка неплавящимся* (угольным, графитовым или вольфрамовым) *электродом 1* дугой прямого действия 2, при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла 3 либо с применением присадочного металла 4 (рис. 1.3, а);

– *сварка плавящимся* (металлическим) *электродом 1* дугой прямого действия 2 с одновременным расплавлением основного металла 3 и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 1.3, б);

– *сварка косвенной дугой 5*, горящей между двумя электродами 1, как правило неплавящимися; основной металл 3 нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 1.3, в);

– *сварка трехфазной дугой 6*, при которой дуга горит между двумя электродами 1, а также между каждым электродом и основным металлом 3 (рис. 1.3, г).

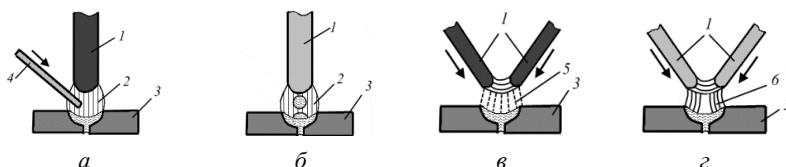


Рис. 1.3. Виды дуговой сварки:

а – сварка неплавящимся электродом; б – сварка плавящимся электродом;  
в – сварка дугой косвенного действия; г – сварка трехфазной дугой

Питание дуги осуществляется постоянным или переменным током. При применении постоянного тока различают сварку *дугой прямой полярности* и *дугой обратной полярности* (рис. 1.4). При прямой полярности (рис. 1.4, а) электрод подключают к отрицательному полюсу (катоду), а свариваемое изделие – к положительному (аноду). При обратной полярности (рис. 1.4, б) электрод подключают к положительному полюсу (аноду), а свариваемое изделие – к отрицательному (катоду). При питании дуги переменным током ее полярность постоянно меняется.



Рис. 1.4. Дуговая сварка:

а – дугой прямой полярности; б – дугой обратной полярности

Процесс зажигания дуги между электродами, одним из которых является свариваемое изделие (рис. 1.5), чаще всего осуществляют коротким замыканием электрода на изделие, для чего сварщик на мгновение прикасается электродом к изделию (рис. 1.5, а), а затем размыканием этой электрической цепи (сварщик отводит электрод на 3–6 мм от изделия) (рис. 1.5, б). При коротком замыкании контактирующие микровыступы на изделии и электроде нагреваются до температуры кипения, обеспечивая испускание электронов (*термоэлектронная эмиссия*). В момент размыкания между электродом и изделием возникает электрическое поле большой напряженности, величина которого достигает  $1,5 \cdot 10^{12}$  В/см. Это поле обеспечивает еще более мощное испускание электронов (*автоэлектронная эмиссия*). В межэлектродном промежутке электроны и ионы на своем пути многократно сталкиваются с молекулами газа, ионизируя их, в результате чего поток носителей электрических зарядов лавинообразно возрастает – происходит ионизация сварочного промежутка. Электроны и отрицательные ионы бомбардируют поверхность анода, а положительные ионы – катода. При этом кинетическая энергия носителей тока преобразуется главным образом в тепловую энергию. Поверхности электродов нагреваются, и примерно через  $10^{-6}$  с между ними зажигается сварочная дуга (рис. 1.5, в).

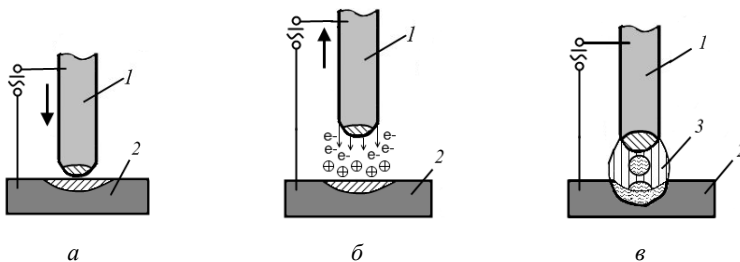


Рис. 1.5. Схемы процесса зажигания дуги

В установившейся сварочной дуге (рис. 1.6) различают три зоны: катодную, анодную и столб дуги. *Катодная зона*, так называемое *катодное пятно*, расположена на торце катода (при сварке дугой прямой полярности – на электроде, обратной полярности – на изделии). Из этой области вылетает поток свободных электронов, ионизирующих дуговой промежуток. К катоду устремляются потоки

положительных ионов, которые бомбардируют его, отдавая свою энергию, и нагревают катод до температуры  $2500^{\circ}\text{C}$ – $3000^{\circ}\text{C}$ .

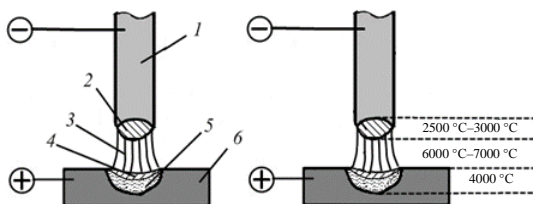


Рис. 1.6. Строение сварочной дуги:

1 – электрод; 2 – катодное пятно; 3 – столб дуги; 4 – анодное пятно;  
5 – сварочная ванна; 6 – свариваемый металл

*Анодная зона*, называемая *анодным пятном*, расположена на торце анода (при сварке дугой прямой полярности – на изделии, обратной полярности – на электроде). К анодному пятну устремляются и отдают ему свою энергию потоки электронов, накаляя его до температуры  $2500^{\circ}\text{C}$ – $4000^{\circ}\text{C}$ . В анодной области дуги, как правило, выделяется больше тепловой энергии, чем в катодной.

*Столб дуги* расположен между катодной и анодной зонами. В зависимости от плотности сварочного тока температура в этой зоне составляет  $6000^{\circ}\text{C}$ – $7000^{\circ}\text{C}$ .

При питании дуги постоянным током около 42 %–43 % теплоты выделяется на аноде, 36 %–38 % – на катоде и 20 %–21 % – в столбе дуги. Поэтому температура анода всегда выше температуры катода.

При сварке дугой переменного тока температуры анода и катода выравниваются вследствие периодической смены полярности, а количество выделяемой теплоты распределяется следующим образом: половина (50 %) идет на нагрев изделия, около 30 % – на нагрев электрода и почти 20 % – на нагрев окружающей среды (потери тепла).

**Источники питания электрической дуги.** Источники питания электрической дуги характеризуются следующими параметрами: номинальным током, пределами регулирования сварочного тока, напряжением холостого хода, номинальным рабочим напряжением, продолжительностью работы, коэффициентом полезного действия.

*Номинальный ток* определяет расчетное значение сварочного тока источника. Для большинства источников питания дуги значения номинальных токов находятся в пределах 50–1000 А.

*Пределы регулирования сварочного тока* указывают минимальные и максимальные значения тока, которые могут быть использованы при сварке. В большинстве случаев за максимальный ток принимают номинальный. Отношение максимального тока к минимальному показывает кратность регулирования, которая обычно составляет не менее трех.

*Напряжение холостого хода* в значительной мере определяет условия зажигания и повторного возбуждения дуги. В зависимости от назначения источника питания напряжение холостого хода может изменяться от 30 до 120 В.

*Номинальное рабочее напряжение* характеризует напряжение на зажимах источника питания под нагрузкой. Обычно оно равно 16–30 В. Для мощных источников питания при сварочном токе 600 А и более рабочее напряжение может составлять 44 В и выше.

*Коэффициент полезного действия*  $\eta$ , %, характеризует потери энергии в самом источнике и определяется по формуле

$$\eta = \frac{N_d}{N_c} \cdot 100,$$

где  $N_d$  – мощность дуги;  $N_c$  – мощность, потребляемая из сети.

Для различных источников питания значение  $\eta = 45\%–98\%$ .

Источники питания дуги должны обеспечивать надежное зажигание дуги (начальное и повторные), ее горение и стабильный процесс сварки, качественное формирование сварного шва. Они должны способствовать благоприятному переносу электродного металла и его наименьшим потерям из-за разбрызгивания и угара.

Источники питания дуги в зависимости от рода тока подразделяются на источники переменного тока (сварочные трансформаторы), постоянного тока (сварочные выпрямители и генераторы) и инверторы (источники с частотными преобразователями).

**Сварочные трансформаторы** являются однофазными понижающими трансформаторами, преобразующими высокое напряжение электрической сети (220 или 380 В) в низкое напряжение сварочной цепи – напряжение холостого хода (60–80 В).

Сварочные трансформаторы применяются для ручной дуговой сварки, автоматической сварки под флюсом, а также для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. Их используют при изго-

товлении неотчетственных металлических конструкций из углеродистых сталей и некоторых цветных металлов и сплавов.

Сварочный трансформатор стоит в 2–4 раза дешевле сварочного выпрямителя и в 6–10 раз – сварочного агрегата аналогичной мощности. Его КПД составляет 90 %, в то время как КПД сварочного выпрямителя – 70 %, а сварочного генератора – 45 %. Сварочные трансформаторы долговечны и надежны в работе, просты в эксплуатации и ремонте. Однако использование переменного тока промышленной частоты (50 Гц) приводит к неустойчивому горению электрической дуги, нестабильности режимов сварки, а также к необходимости использования специальных электродов для переменного тока.

**Сварочные выпрямители** состоят из трехфазного понижающего трансформатора, выпрямительного блока, измерительной и защитной аппаратуры.

Сварочные выпрямители применяются для ручной дуговой сварки, сварки под флюсом, сварки в среде углекислого газа.

Преимуществами выпрямителей являются плавное дистанционное регулирование режимов сварки и их стабилизация при изменении напряжения в сети.

**Сварочные генераторы** являются сложными электромеханическими устройствами, состоящими из двигателя и генератора, объединенными на общей базе. В таком устройстве механическая энергия вращения вала двигателя преобразуется генератором в постоянный электрический ток, поддерживающий устойчивое горение сварочной дуги. Если функции двигателя выполняет электрический двигатель, то такое устройство называют *сварочным преобразователем*, а если двигатель внутреннего сгорания – *сварочным агрегатом*. Сварочные агрегаты используют в тех местах, где отсутствует электричество (в новостройках, на монтажных работах в полевых условиях, при сварке газо- и нефтепроводов, при прокладке линий электропередач и т. п.).

Сварочные генераторы применяются для ручной дуговой сварки плавящимися электродами, сварки под флюсом, сварки в защитных газах.

Преимуществами сварки с использованием источников постоянного тока являются следующие: более устойчивое горение дуги (из-за отсутствия затуханий, связанных с изменением полярности при переменном токе); высокое качество сварки благодаря стабильности горения дуги постоянного тока; улучшение условий сварки в различных пространственных положениях; возможность выпол-



нения сварки дугой как прямой полярности, так и обратной, когда путем изменения полярности дуги можно регулировать соотношение нагрева электрода и изделия и, используя дугу обратной полярности, производить сварку изделий электродами с тугоплавкими покрытиями и флюсами.

**Инверторные источники питания.** Основным элементом такого источника питания является высокочастотный преобразователь тока – инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный высокой частоты. Преобразование тока производится с помощью коммутационных элементов тиристорного или транзисторного типа, работающих на частотах, достигающих десятков кГц. У таких источников масса и габариты уменьшаются в несколько раз по сравнению с другими источниками. Они имеют коэффициент мощности 0,95–0,98, малые потери, более высокие КПД и динамические свойства.

На рис. 1.7 приведена функциональная схема инверторного источника для дуговой сварки. Переменное напряжение питающей сети частотой 50 Гц и напряжением 220 или 380 В подается на низкочастотный выпрямитель НВ. После выпрямления оно преобразуется инвертором ИНВ в переменное напряжение высокой частоты (до десятков кГц) и поступает на понижающий высокочастотный силовой трансформатор Т. Со вторичной обмотки трансформатора ток через высокочастотный выпрямитель ВВ и сглаживающий дроссель Д поступает непосредственно к месту сварки. Формирование внешних характеристик и регулирование сварочного режима осуществляется системой управления блока обратных связей БУ. Питание трансформатора напряжением высокой частоты позволяет существенно снизить его массу и размер. Например, расчетная масса трансформатора мощностью 20 кВт при питании напряжением частотой 50 Гц составляет более 100 кг, а при 50 кГц – не более 10 кг.

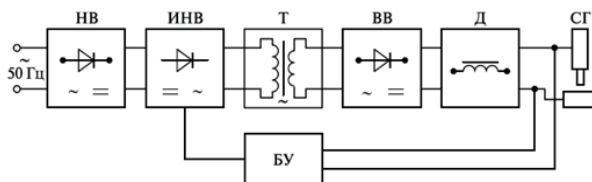


Рис. 1.7. Функциональная схема инверторного источника питания:

НВ – низкочастотный выпрямитель; ИНВ – инвертор;

Т – трансформатор; ВВ – высокочастотный выпрямитель;

Д – дроссель; СГ – сварочная горелка; БУ – блок управления

Инверторные источники обеспечивают легкое зажигание и эластичность дуги, управляемое плавление электрода с мелкокапельным и струйным переносом металла, понижение напряжения холостого хода, экономию электроэнергии на 30 %–40 %, плавную дистанционную регулировку параметров сварочного режима.

Источники с инверторными преобразователями применяют для дуговой сварки на постоянном и переменном токе плавящимся и неплавящимся электродами в непрерывном и импульсном режимах, для ручной и механизированной сварки в защитных газах сталей и алюминиевых сплавов, в первую очередь для изделий малой и средней толщины.

Особые технологические свойства имеют *импульсные инверторные источники сварочного тока*, разработанные на основе универсальных и инверторных выпрямителей. Специальные блоки управления работой тиристоров и транзисторов позволяют получать ток в виде импульсов различной формы (прямоугольных, экспоненциальных) с разными периодами и временем следования импульсов. Главное достоинство импульсных источников тока заключается в существенном снижении подвода тепла при сварке, что позволяет сваривать металл малой толщины без опасности прожога и недопустимого разбрызгивания металла электрода.

**Классификация дуговых методов сварки.** Дуговые методы сварки классифицируются по следующим признакам: по роду тока, по виду защиты зоны сварки, по типу применяемого электрода и степени механизации.

По роду тока дуговые методы подразделяются на сварку на постоянном (DC (*direct current*)) или переменном (AC (*alternating current*)) токе. По виду защиты зоны сварки методы подразделяются на сварку в защитных газах: инертных (аргон, гелий – MIG (*metal inert gas*)) и активных (углекислый газ – MAG (*metal active gas*)), а также под флюсом (SAW (*submerged arc welding*)). По степени механизации процесса и типу электрода дуговые способы сварки подразделяются на ручную дуговую плавящимся электродом (ММА (*manual metal arc*)) и механизированную в среде защитных газов плавящимся электродом (MIG, MAG), неплавящимся вольфрамовым электродом (TIG (*tungsten inert gas*)), порошковой проволокой (FCAW (*flux-cored arc welding*)) и под флюсом (SAW).

**Ручная дуговая сварка** (ММА) – дуговая сварка, при которой возбуждение дуги, подача электрода и его перемещение проводятся вручную.

Ручная дуговая сварка плавящимся электродом (сварка по Славянову) является самым распространенным способом сварки.

Для ручной дуговой сварки сталей широко применяются плавящиеся металлические электроды в виде стержней диаметром 1,6 мм и более и длиной от 150 до 450 мм из сварочной проволоки с нанесенным на них слоем покрытия.

Сварочную проволоку из низкоуглеродистых, легированных и высоколегированных сталей, из которой изготавливают металлический стержень электрода, маркируют, добавляя впереди марки стали буквы Св (ГОСТ 2246–70). Так, электроды из низкоуглеродистых сталей имеют марки Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-08ГА, Св-10ГА; из легированных – Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ, Св-18ХГС, Св-10НМА, Св-08ХМ, Св-18ХМА, Св-08ХМФА, Св-08ХГСМА, Св-06Н3, Св-04Х2МА, Св-13Х2МФТ, Св-08ХМНФБА, Св-08ХН2Г2СМЮ и др.; из высоколегированных – Св-12Х11НМФ, Св-12Х13, Св-08Х14ГНТ, Св-01Х19Н9, Св-13Х25Т, Св-07Х18Н9ТЮ, Св-08Х19Н10МЗБ, Св-30Х15Н35ВЗБЗТ, Св-13Х25Т, Св-10Х16Н25АМ6 и др. Для сварки чугунных изделий стержень электрода может быть изготовлен из чугунных прутков со специальным покрытием, стальной сварочной проволоки (Св-08, Св-08А и др.), медной проволоки и ее сплавов (НМЖМц и др.), а также из некоторых проволок легированных сталей (Св-04Х19Н9, Св-04Х19Н9, Св-08Н50 и др.).

Покрытие на металлическом стержне должно обеспечивать устойчивое горение дуги, защиту от вредного воздействия воздуха, металлургическую обработку сварочной ванны, улучшение формирования шва и др. В связи с этим в покрытия входят различные группы компонентов.

Стабилизирующие компоненты вводятся в состав покрытия с целью придания устойчивости горению дуги. Это достигается использованием материалов, в состав которых входят легкоионизирующиеся элементы (Са, Na, К). В качестве таких материалов применяют мел, мрамор, полевой шпат и др.

Газообразующие компоненты служат для создания газовой защиты сварочной зоны от вредного воздействия воздуха. Обычно в качестве таких материалов используют органические вещества (крахмал,

декстрин, целлюлозу), а также минералы, которые при нагреве диссоциируют с образованием газов (мрамор, магнитит и др.).

Шлакообразующие материалы, основной задачей которых является создание шлакового покрова, защищают расплавленный металл от взаимодействия с кислородом и азотом воздуха. Кроме того, образующиеся шлаки являются средой, в которой протекают металлургические процессы, и в ряде случаев сами активно участвуют в них. Наиболее часто применяемыми шлакообразующими материалами являются марганцевая руда, мрамор, кремнезем, полевой шпат, плавиковый шпат и др.

Раскисляющие материалы служат для раскисления расплавленного металла. С этой целью в покрытие вводят ферросплавы элементов, обладающих высоким сродством к кислороду, дающих жидкие, нерастворимые в металле оксиды (ферросплавы кремния, марганца, титана и др.).

Легирующие материалы применяют для придания металлу шва заданных свойств. В качестве таких материалов обычно используют соответствующие ферросплавы.

Связующие материалы, на которых делается замес обмазочной массы, после ее высыхания обеспечивают прочность электродных покрытий (калиевое или натриевое жидкое стекло, декстрин и др.).

*Классификация электродов для дуговой сварки.* Металлические электроды для дуговой сварки сталей изготавливают в соответствии с ГОСТ 9466–75, предусматривающим классификацию по назначению и виду.

По назначению электроды подразделяются на следующие:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с пределом прочности до 600 МПа, обозначаемых общим индексом У (Э38, Э42, Э42А, Э50, Э60);

- для сварки легированных конструкционных сталей с пределом прочности свыше 600 МПа с общим индексом Л (Э70, Э85, Э100, Э125, Э150);

- для сварки легированных теплоустойчивых сталей с индексом Т;

- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами с индексом В;

- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами с индексом Н.

По виду покрытия электроды подразделяются на следующие:

- с кислым покрытием А;
- с основным покрытием Б;
- с целлюлозным покрытием Ц;
- с рутиловым покрытием Р;
- с покрытием прочих видов П.

Кислые покрытия А (электроды марок АНО-2, СМ-5 и др.) состоят в основном из оксидов железа и марганца (руды), кремнезема, ферромарганца. Они технологичны, однако наличие оксидов марганца делает их токсичными. Рутиловые покрытия Р (электроды АНО-3, АНО-4, ОЗС-3, ОЗС-4, МР-3, МР-4 и др.) имеют в своем составе преобладающее количество рутила ( $\text{TiO}_2$ ). Такие покрытия менее вредны для дыхательных органов сварщика. Целлюлозные покрытия Ц (электроды ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗС-1 и др.) состоят из целлюлозы, органической смолы, ферросплавов, талька и др. Эти покрытия удобны для сварки в любом положении, но дают наплавленный металл пониженной пластичности. Основные покрытия Б (электроды УОНИ-13/45, ОЗС-2, ДСК-50 и др.) не содержат оксидов железа и марганца. Металл шва, выполненный такими электродами, обладает большой пластичностью. Характеристики некоторых покрытых электродов приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Характеристики покрытых электродов

Марка электрода	Тип электрода	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Предел текучести $\sigma_t$ , МПа	Ударная вязкость $a_n$ , кДж/м <sup>2</sup>	Коэффициент наплавки $a_n$ , г/(А·ч)
АНО-6	Э42-Т	440	323	1370	8,0
АНО-3	Э46-Т	490	372	1470	8,4
ОЗС-4	Э46-Т	490	382	1170	9,0
УОНИ-13/55	Э50-Ф	510	412	1960	9,4
УОНИ-13/65	Э60-Ф	608	461	1760	9,5

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода  $D$  к диаметру стального стержня  $d$  различают электроды: М – с тонким покрытием ( $D/d < 1,20$ ); С – со средним покрытием ( $D/d = 1,20\text{--}1,45$ ); Д – с толстым покрытием ( $D/d = 1,45\text{--}1,80$ ) и Г – с особо толстым покрытием ( $D/d > 1,80$ ).

По допустимым основным положениям сварки покрытые электроды делятся на группы: 1 – для всех положений; 2 – для всех положений, кроме вертикального; 3 – для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости; 4 – для нижнего. Разделяют электроды для сварки на переменном и постоянном токе прямой и обратной полярности. Покрытые электроды выпускают диаметром металлического стержня 1,6–12,0 мм и длиной 150–450 мм.

Условное обозначение типа электрода расшифровывается следующим образом: буква Э – электрод; стоящие за ней цифры – предел прочности металла шва. Так, электроды типа Э46 марок ОЗС-4, АНО-3 должны обеспечивать предел прочности не менее 460 МПа. Буквы и цифры, входящие в обозначение типов покрытых электродов для сварки легированных сталей, показывают примерный химический состав наплавленного металла (Э-09Х1МФ, Э-12Х13).

Для каждого типа покрытых электродов разработана одна или несколько марок, характеризующихся типом сварочной проволоки, составом покрытия, химическим составом и свойствами металла шва и др.

При ручной дуговой сварке плавящимся электродом (рис. 1.8) дуга 8 горит между стержнем электрода 7 и основным металлом 1, поверхность которого оплавляється. Стержень электрода плавится, и капли жидкого металла 9 стекают. Вместе со стержнем плавится покрытие на электроде 6, образуя защитную газовую атмосферу 5 вокруг дуги и слой жидкого шлака 4 на поверхности ванны жидкого металла 10. По мере движения дуги расплавленный металл затвердевает, образуя сварной шов 3, а жидкий шлак 4 превращается в твердую корку 2 на его поверхности.

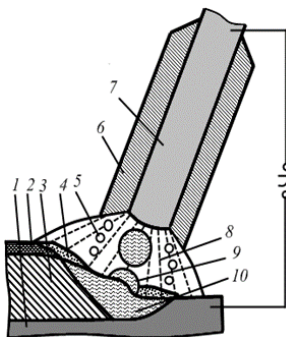


Рис. 1.8. Схема ручной дуговой сварки

Для получения сварного соединения требуемых размеров, формы и качества устанавливается режим сварки, т. е. основные показатели, определяющие ее процесс. К этим показателям при ручной дуговой сварке относятся марка электрода, его диаметр, сила и род свариваемого тока, скорость сварки.

*Преимущества* ручной дуговой сварки:

- возможность производить сварку в любом пространственном положении, что особенно важно при проведении монтажных работ;
- простота применяемого оборудования;
- возможность сварки в труднодоступных местах;
- быстрый переход от сварки одного вида материала к другому;
- большая номенклатура свариваемых металлов.

Главным *недостатком* ручной дуговой сварки является ее низкая производительность. Это обусловлено тем, что величина тока при ручной дуговой сварке электродом с покрытием ограничена, а следовательно, ограничена скорость плавления электрода. Увеличение величины сварочного тока сверх рекомендуемых значений приводит к разогреву стержня электрода и разрушению на нем покрытия, а также сильному разбрызгиванию и угару расплавляемого металла электрода. Кроме того, недостатками ручной дуговой сварки являются вредные и тяжелые условия труда сварщика, а также трудность сварки материалов толщиной менее 1–2 мм.

Ручную дуговую сварку применяют при монтаже и сборке конструкций сложной формы, а также при производстве изделий, имеющих короткие и прерывистые швы, швы сложной конфигурации, т. е. там, где трудно или невыгодно применять автоматические методы сварки. Ручной дуговой сваркой можно сваривать сталь, чугун, медь и сплавы на основе меди.

*Дуговая сварка под флюсом* (SAW) – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса. Для дуговой сварки под флюсом используют непокрытую электродную проволоку и флюс.

При сварке стальных изделий в качестве электродной проволоки используют проволоки тех же марок, что и при ручной дуговой сварке.

*Сварочный флюс* – сыпучий измельченный многокомпонентный материал сложного химического состава. Компоненты этого материала выполняют стабилизирующую, шлакообразующую, легирующую и газообразующую функции (аналогично функциям, которые выполняют составляющие покрытия на электроде при ручной дуговой

сварке). Основными компонентами флюса являются  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

При сварке под флюсом электрическая дуга 6 горит между электродной проволокой 2 и свариваемым металлом 1 (рис. 1.9). Проволока подается в зону сварки с помощью механизма подачи 3, ток к электроду – через токопровод 4. Электрическая дуга 6 и ванна жидкого металла 7 изолированы от окружающей среды слоем гранулированного флюса 5 толщиной 30–50 мм. Ванна состоит из металла расплавленных кромок свариваемых элементов и электродной проволоки. Часть флюса в области электрической дуги и ванны жидкого металла расплавляется. В результате этого вокруг дуги образуется газовая полость 11, а на поверхности расплавленного металла – ванна жидкого шлака 8. Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла. Под действием электрической дуги при перемещении электрода вдоль заготовки происходит оттеснение расплавленного металла в сторону, противоположную направлению сварки. По мере поступательного движения электрода металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва 9, покрытого твердой, легко удаляемой шлаковой коркой 10. Нерасплавившийся флюс используется при сварке повторно.

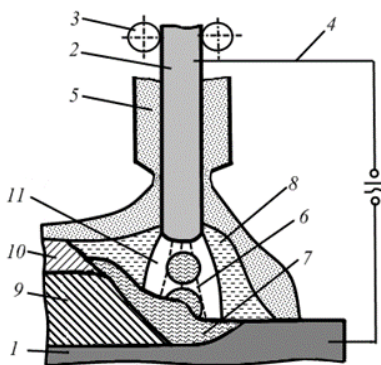


Рис. 1.9. Сварка под флюсом

При сварке под флюсом используются источники питания дуги переменного и постоянного тока с крутопадающей характеристикой, которая ограничивает величину тока короткого замыкания. Это ограничение необходимо, поскольку при сварке происходят короткие



замыкания при касании электродной проволоки и изделия или переходе капли металла с электродной проволоки на изделие.

По степени механизации процесса сварка под флюсом бывает автоматической и механизированной.

Сварка под флюсом (по сравнению с ручной) имеет следующие *преимущества*: большую производительность (в 5–25 раз) и скорость сварки (20–150 м/ч), достигаемые за счет использования больших сварочных токов (до 2000 А); повышенное качество сварных швов благодаря возможности регулирования режимов сварки, автоматизированной подаче и перемещению электродной проволоки; более высокую экономичность процесса за счет снижения расхода электродной проволоки и более полного использования тепловой мощности дуги (КПД дуги составляет 0,90–0,95); лучшие условия труда, обусловленные отсутствием необходимости защиты глаз от светового излучения и уменьшением количества вредных газов, выделяемых в процессе сварки.

К *недостаткам* сварки под флюсом относятся: невозможность выполнения потолочных и вертикальных швов; трудность сварки деталей толщиной 1–2 мм и менее; отсутствие визуального контроля за процессом горения дуги и положением электрода.

***Дуговая сварка в защитном газе*** – дуговая сварка, при которой дуга и расплавляемый металл, а в некоторых случаях и остывающий шов находятся в защитном газе, подаваемом в зону сварки с помощью специальных устройств.

При сварке в зону дуги подается защитный газ, струя которого, обтекая электрическую дугу и сварочную ванну, предохраняет расплавленный металл от воздействия атмосферного воздуха: окисления и азотирования. В качестве защитных газов применяются инертные газы: аргон (Ar) и гелий (He), активные газы: углекислый газ (CO<sub>2</sub>) и азот (N<sub>2</sub>), а также смеси газов (Ar + He, Ar + H<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub>, Ar + CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>). Наибольшее применение получили аргонодуговая сварка и сварка в углекислом газе.

***Аргон*** – нерастворимый в жидких и твердых металлах бесцветный газ, в 1,38 раза тяжелее воздуха (поставляют и хранят в сжатом газообразном состоянии под давлением 15 МПа в стальных баллонах черного цвета с надписью синего цвета «Аргон технический» и синей полосой).

***Углекислый газ*** – нерастворимый в твердых и жидких металлах бесцветный газ, со слабым запахом, в 1,52 раза тяжелее воздуха

(поставляют и хранят в сжиженном состоянии под давлением 7 МПа в стальных баллонах черного цвета с надписью желтого цвета «Углекислота»).

*Аргонодуговая сварка* – дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется аргон. Ее можно выполнять неплавящимися и плавящимися электродами.

Сварку *неплавящимся* вольфрамовым электродом (TIG) (рис. 1.10) применяют, как правило, при соединении металлических изделий толщиной 0,8–6,0 мм. При этом возможна сварка с расплавлением только основного металла заготовки (толщиной до 3 мм), а также при необходимости усиления шва или заполнения разделки кромок при толщинах более 3 мм с применением присадочного материала (прутка или проволоки). При ручной аргонодуговой сварке пруток подают в сварочную дугу и перемещают горелку вручную (рис. 1.10, а), а при механизированной проволока подается с помощью специального механизма (рис. 1.10, б).

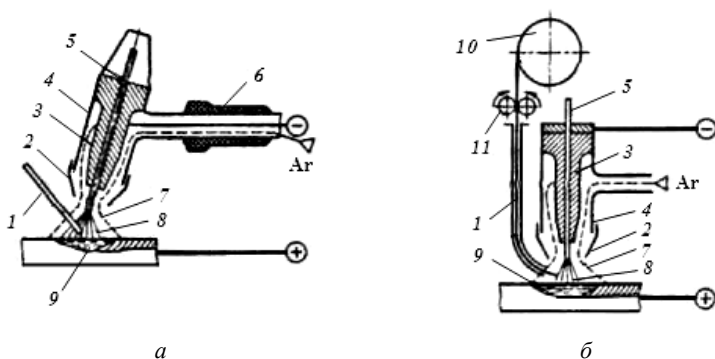


Рис. 1.10. Принципиальная схема аргонодуговой сварки неплавящимся электродом:

а – ручная; б – автоматическая или механизированная;

1 – присадочный пруток или проволока; 2 – сопло; 3 – токоподводящий мундштук; 4 – корпус горелки; 5 – неплавящийся вольфрамовый электрод; 6 – рукоять горелки; 7 – атмосфера защитного газа; 8 – сварочная дуга; 9 – ванна расплавленного металла; 10 – кассета с проволокой; 11 – механизм подачи

Неплавящиеся электроды для аргонодуговой сварки изготавливают из вольфрамовых стержней диаметром 0,2–12,0 мм. Величину тока выбирают из расчета 100 А на 1 мм диаметра электрода (ориентировочно).

В качестве присадочного материала применяют стандартную сварочную проволоку из металла, сходного по химическому составу со свариваемым изделием. Диаметр присадочной проволоки выбирают в пределах 0,5–0,7 от диаметра вольфрамового электрода.

Сварку неплавящимся электродом ведут с использованием постоянного тока дугой прямой полярности. В этом случае дуга легко зажигается и устойчиво горит при напряжении 10–15 В и минимальном токе 10 А. Это позволяет сваривать металлические детали толщиной 0,8–1,0 мм.

Аргонодуговую сварку *плавящимся* электродом (MIG) (рис. 1.11) выполняют с использованием постоянного тока дугой обратной полярности. В этом случае электрические свойства дуги определяются наличием достаточного количества положительно заряженных ионизированных атомов металла электрода в столбе дуги. Поэтому дуга обратной полярности горит устойчиво и обеспечивает качественное формирование шва. Этим методом сваривают металлические изделия толщиной 3 мм и более. Непрерывное протекание процесса и хорошее качество шва достигается при высоких плотностях тока ( $100 \text{ А/мм}^2$  и более). При таких режимах сварки перенос металла становится мелкокапельным или струйным, что обеспечивает глубокое проплавление основного металла, формирование плотного шва с ровной и чистой поверхностью и разбрызгивание металла в допустимых пределах. Из-за необходимости применения высоких плотностей тока при этом используют проволоку малого диаметра 0,6–3,0 мм и большую скорость ее подачи. Это достигается только механизированной подачей проволоки в зону сварки.

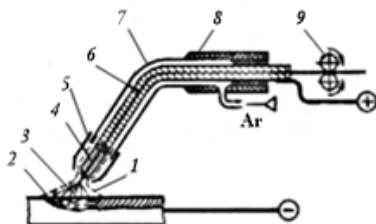


Рис. 1.11. Принципиальная схема аргонодуговой сварки плавящимся электродом:  
1 – атмосфера защитного газа; 2 – ванна расплавленного металла;  
3 – сварочная дуга; 4 – токоподводящий мундштук; 5 – сопло;  
6 – плавящийся металлический электрод (сварочная проволока);  
7 – корпус горелки; 8 – рукоять горелки; 9 – механизм подачи

Аргонодуговую сварку применяют для соединения тонколистовых изделий из цветных (Al, Mg, Cr), в т. ч. тугоплавких (Ti, Nb, V, Zr), металлов и их сплавов, а также изделий из чугунов, углеродистых, легированных и высоколегированных сталей.

Аргонодуговая сварка широко применяется при ремонте агрегатов и узлов тракторов, автомобилей, сельскохозяйственных машин (например, радиатор, поддон картера, блок двигателя), а также кондиционерных трубок, силуминовых кронштейнов, корпусов и трубопроводов химических аппаратов и др.

*Дуговая сварка в углекислом газе (MAG)* – дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется  $\text{CO}_2$ . Сварку выполняют только плавящимся электродом (диаметр проволоки 0,2–5,0 мм) с использованием повышенной плотности постоянного тока (80–100 А/мм<sup>2</sup>) дугой обратной полярности.

При сварке в углекислом газе (рис. 1.12) плавящийся электрод 1 автоматически подается в зону сварки. Защита расплавленного металла сварочной ванны осуществляется струей углекислого газа, подаваемого в зону дуги в зазор между мундштуком 2 и соплом 3 горелки. Скорость истечения газа для обеспечения ламинарного течения потока с наименьшим перемешиванием газа с воздухом и отсутствия подсоса воздуха в зону сварки выбирается равной 0,6–1,5 м/с. При больших скоростях истечения углекислого газа происходит его завихрение, приводящее вследствие инжекции к подсосу воздуха в зону сварки.

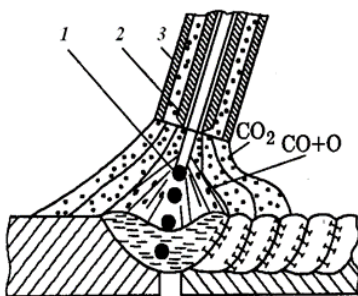


Рис. 1.12. Схема процесса дуговой сварки в углекислом газе

При сварке в углекислом газе необходимо учитывать, что при высоких температурах сварочной дуги  $\text{CO}_2$  диссоциирует на оксид

углерода СО и атомарный кислород О, что может привести к окислению свариваемого металла. Для устранения окислительного действия атомарного кислорода сварочную проволоку дополнительно легируют Mn, Si и Al, обладающими большим сродством к кислороду, чем Fe. Поэтому при сварке изделий из углеродистых и низкоуглеродистых сталей применяют сварочную проволоку марок Св-08ГС, Св-08ГСА, Св-08Г2С, Св-10ГС, Св-10Г2С, Св-07ГСиЮ и др. При сварке такими электродами на поверхности шва образуется тонкая шлаковая корка из оксидов этих металлов.

При сварке в углекислом газе осуществляется капельный, а не струйный перенос расплавленного углеродного металла, характерный для аргонодуговой сварки. Поэтому при сварке в СО<sub>2</sub> происходит повышенное разбрызгивание электродного металла (до 10 %–12 %). На зачистку от брызг расходуется от 30 % до 40 % времени, затрачиваемого на сварку. Для уменьшения разбрызгивания применяют смеси газов (СО<sub>2</sub> + (5–15) % О<sub>2</sub> или Ar + (10–20) % О<sub>2</sub>). Добавление О<sub>2</sub> или замена большей части СО<sub>2</sub> на Ar приводит к снижению поверхностной энергии и уменьшению размеров капель электродного металла.

Для сварки в СО<sub>2</sub> в качестве электродов часто используют порошковые проволоки (метод FCAW), которые представляют собой металлическую трубчатую оболочку, заполненную шлакообразующими и газообразующими компонентами, раскислителями или легирующими элементами. Применение порошковых проволок улучшает защиту сварочной ванны, уменьшает разбрызгивание, делает более гладкой поверхность свариваемого шва.

Сварка в СО<sub>2</sub> является самым дешевым способ сварки изделий из углеродистых и низколегированных сталей. Легкая автоматизация процесса сварки, низкая стоимость углекислого газа и высокая производительность процесса сделали дуговую сварку в среде СО<sub>2</sub> самым распространенным способом сварки в промышленности (в т. ч. в ремонтном производстве). Так, по объему производства она превосходит все прочие механизированные способы сварки плавлением. Преимущества механизированной сварки в СО<sub>2</sub> в отношении стоимости и производительности обеспечивают замену ею ручной дуговой сварки покрытым электродом.

Сваркой в СО<sub>2</sub> сваривают конструкции из углеродистых и низколегированных сталей: газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т. д. Самозащитные проволоки применяют при сварке неповоротных

стыков труб газо- и нефтепроводов, наплавке зубьев и ковшей экскаваторов, подводной сварке и т. д.

*Преимущества* сварки в защитных газах: высокое качество сварных соединений благодаря эффективной защите металла, а также возможности визуального наблюдения за формированием сварного шва; возможность сваривания тонкостенных изделий (толщина стенок от 0,1 мм); большая скорость сварки за счет высокой концентрации теплоты дуги и, как следствие, большей, чем при ручной дуговой сварке, проплавляющей способности; отсутствие на поверхности шва оксидов и шлаковых включений; возможность соединения металлических заготовок толщиной до 100 мм в различных пространственных положениях; осуществление сварки изделий практически из всех металлов и сплавов (аргонодуговая сварка); относительно низкая стоимость сварки (сварка в  $\text{CO}_2$ ).

К *недостаткам* дуговой сварки в защитных газах относятся: повышенная стоимость изделий, получаемых сваркой в среде инертных газов; возможность образования пористости при сварке в  $\text{CO}_2$  недостаточно раскисленных металлов; нарушение процесса сварки на открытых площадках, на сквозняке, где ухудшается газовая защита свариваемого металла; наличие свободного кислорода в дуге при сварке в  $\text{CO}_2$ , что ограничивает ее применение при сварке изделий из меди, алюминия, магния, титана и редких металлов, поскольку невозможно связать свободный кислород введением каких-либо раскислителей.

### 1.3. Контактные способы сварки

Контактная сварка занимает второе место после дуговой по объему производства сварных конструкций. Около 30 % всех сварных изделий выполняют контактной сваркой.

**Контактная сварка** – группа способов сварки давлением, основанных на нагреве свариваемых деталей электрическим током и последующей пластической деформации зоны соединения.

Характерная особенность этой группы способов – кратковременность нагрева зоны соединения без ее оплавления или с оплавлением и быстрая пластическая деформация путем осадки свариваемых участков. При контактной сварке к двум сжатым между собой деталям с помощью специальных электродов подводят электрический ток (рис. 1.13). В соответствии с законом Джоуля – Ленца количество теплоты  $Q$ , выделяемое в электрической цепи, определяется по формуле

$$Q = I^2 R \tau,$$

где  $R$  – полное сопротивление сварочного контура, Ом;  $I$  – сварочный ток, А;  $\tau$  – время протекания тока, с.

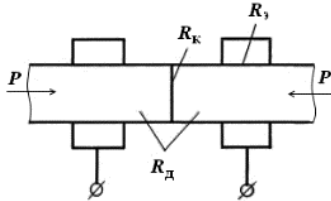


Рис. 1.13. Схема контактной сварки

Полное электрическое сопротивление зоны сварки  $R$  состоит из сопротивления свариваемых деталей  $R_d$ , сопротивления между электродами и деталями  $R_s$  и сопротивления сварочного контакта  $R_k$ :

$$R = 2R_d + 2R_s + R_k.$$

Величина  $R_k$  значительно превосходит электрическое сопротивление любого другого участка зоны сварки. Это вызвано, во-первых, резким уменьшением сечения проводника в зоне соприкасающихся поверхностей, а во-вторых, наличием на них пленок оксидов и загрязнений, имеющих высокое электросопротивление. Высокое сопротивление в зоне контакта  $R_k$  обуславливает максимальное тепловыделение  $Q_k$  на этом участке ( $Q_k = I^2 R_k \tau$ ). Поэтому при прохождении тока заданной величины  $I$  в течение определенного времени  $\tau$  можно добиться локального нагрева зоны контакта свариваемых деталей до ее расплавления или термопластического состояния.

Основными параметрами, характеризующими режимы контактной сварки, являются следующие: величина тока и время его протекания, усилие сжатия и время его действия.

В зависимости от величины тока и времени его протекания различают два режима сварки: жесткий и мягкий. *Жесткий* режим характеризуется большей силой тока и малым временем его протекания. Такой режим применяется для сварки деталей из сталей, чувствительных к нагреву и склонных к образованию закалочных структур, а также из легкоплавких цветных металлов и их сплавов.

*Мягкий* режим характеризуется большей продолжительностью процесса при более низкой силе тока и постепенным нагревом металла свариваемых изделий. Такой режим используют при сварке деталей из углеродистых сталей, обладающих низкой чувствительностью к тепловому воздействию.

Особенностью контактной сварки является применение кратковременных (доли секунды) импульсов сварочного тока большой мощности (до 100 000 А) при небольшом напряжении (0,3–10,0 В). Выполнение сварки на таких режимах обуславливает высокую производительность процесса, обеспечивает экономию электроэнергии, снижает вероятность окисления деталей, приводит к уменьшению величины зоны термического влияния, позволяет управлять процессом локального тепловыделения и теплоотвода, т. е. процессом формирования соединения.

Основными способами контактной сварки являются точечная (в т. ч. рельефная), шовная и стыковая. При этом для подвода электрического тока к свариваемым деталям и деформации зоны соединения используют различные виды электродов (рис. 1.14): стержневые (для точечной сварки); плоские (для рельефной); дисковые (для шовной); зажимные губки (для стыковой).

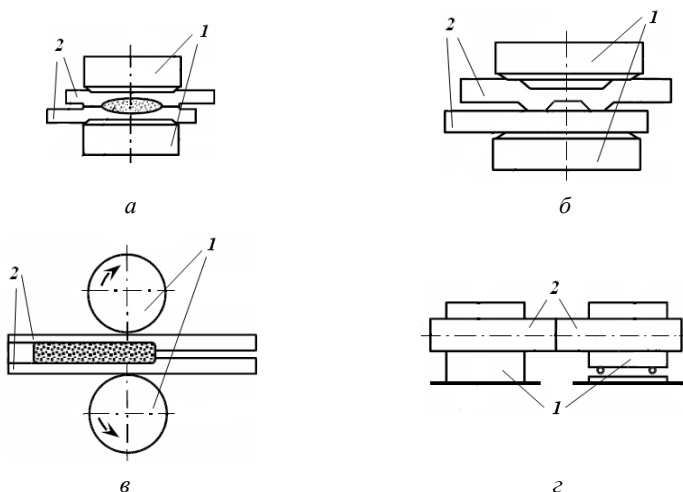


Рис. 1.14. Электроды для контактной сварки:  
*а* – стержневые; *б* – плоские; *в* – дисковые; *г* – зажимные губки;  
*1* – электрод; *2* – свариваемые детали



Установки для контактной сварки классифицируются:

- по способу сварки (точечные, шовные и стыковые);
- по роду тока (переменного тока и импульсные);
- по степени механизации (автоматические, механизированные и ручные);

- по виду исполнения (стационарные, передвижные и подвесные).

Установки для контактной сварки состоят из двух основных узлов: электрического и механического. Электрический узел состоит из трансформатора, регулятора тока, регулятора времени, прерывателя тока и других устройств, а механический – из станины и механизмов, обеспечивающих фиксацию и необходимое усилие сжатия свариваемых деталей.

**Точечная сварка** – способ контактной сварки, при которой сварное соединение осуществляется отдельными точками и располагается между электродами, являющимися токоподводами и передающими усилие сжатия.

В зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам точечная сварка может быть двусторонней и односторонней (рис. 1.15).

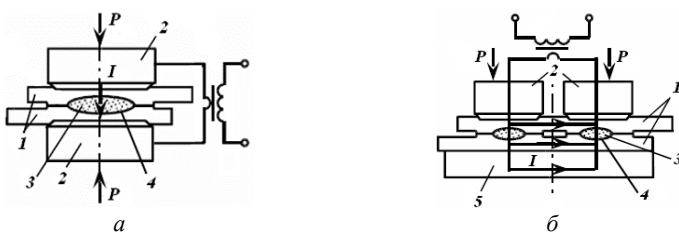


Рис. 1.15. Принципиальные схемы точечной сварки:

а – двусторонняя; б – односторонняя;

1 – свариваемые заготовки; 2 – стержневые электроды;

3 – линза жидкого металла; 4 – кольцо-поясок; 5 – медная подкладка

При *двусторонней точечной сварке* заготовки 1 собирают внахлестку и зажимают с некоторым усилием  $P$  между двумя стержневыми электродами 2, подводящими ток к месту сварки (рис. 1.15, а). Электроды изготавливаются из меди и медных сплавов, имеющих высокую электро- и теплопроводность (изнутри электроды охлаждаются водой). При прохождении электрического тока на участке контакта двух свариваемых поверхностей металл плавится, образуя жидкое ядро 3 (линза жидкого металла). Благодаря усилиям сжатия,

создаваемым электродами, твердый нагретый металл вокруг расплавленного ядра деформируется, формируя вокруг него кольцо-поясок 4, предотвращающее выплеск (вытекание) расплава в зазор между деталями. Одновременно кольцо-поясок изолирует расплавленный металл от вредного воздействия воздуха (кислорода и азота). После образования ядра расплавленного металла электрический ток выключают и ядро затвердевает, образуя сварную точку. При пропуске электрического тока и в течение некоторого времени после отключения тока электроды сжимают детали, пластически деформируя зону контакта и препятствуя образованию усадочных раковин и трещин. Можно сваривать детали одной, двумя или несколькими точками. Их расположение и количество определяются расположением и количеством электродов в машине для точечной сварки.

*При односторонней точечной сварке* (рис. 1.15, б) два или более электрода 2 контактируют только с одной из свариваемых заготовок. При пропуске тока он распределяется между верхним и нижним свариваемыми листами 1 и проходит через свариваемый участок. Для увеличения тока, проходящего через нижний лист, снизу дополнительно устанавливается медная подкладка 5. Односторонней сваркой соединяют заготовки одновременно двумя и более точками.

Точечную сварку выполняют как на мягких, так и на жестких режимах.

Основные параметры мягких режимов: плотность тока – 80–160 А/мм<sup>2</sup>, усилие сжатия – 15–40 МПа, время протекания тока – 0,5–3,0 с. На таких режимах сваривают детали из углеродистых, низколегированных сталей и сталей, склонных к закалке.

Параметры жестких режимов: плотность тока – 120–360 А/мм<sup>2</sup>, усилие сжатия – 4–150 МПа, время протекания тока – 0,001–0,010 с. Такие режимы применяют при сварке изделий из коррозионно-стойких сталей, алюминиевых и медных сплавов, а также для соединения деталей из тонколистовых материалов. При сварке деталей из коррозионно-стойких сталей и использовании мягких режимов из-за длительности процесса возможно выпадение карбидов хрома в околошовной зоне и, как следствие, потеря коррозионной стойкости. При сварке изделий из алюминиевых, медных сплавов и тонколистового металла (фольги) толщиной до 0,1 мм мягкие режимы не применяют из-за трудностей, связанных с организацией тепло-выделения, необходимого для локального расплавления металла при формировании сварной точки.

Точечная сварка – универсальный способ, применяемый при соединении изделий из низкоуглеродистых, углеродистых, низколегированных, конструкционных и коррозионностойких сталей, алюминиевых и медных сплавов. Этот способ широко используется в автомобиле-, вагоно- и авиастроении, строительстве, радиоэлектронике и т.д. Диапазон свариваемой толщины изделий составляет от нескольких микрометров до трех миллиметров.

Разновидностью точечной сварки является рельефная сварка.

**Рельефная сварка** – вид контактной сварки, при котором детали соединяются одновременно в нескольких точках, положение которых определяется выступами (рельефами), образованными штамповкой или обработкой резанием на одной или обеих деталях. При рельефной сварке контакт между деталями определяется не формой рабочей части электродов, как при точечной сварке, а формой поверхностей деталей в месте их соединения.

При рельефной сварке (рис. 1.16) заготовки 1 зажимают между плоскими электродами (контактными плитами) 2. Соединение происходит в зонах выступов 3, которые могут быть получены листовой штамповкой на одной из заготовок. При включении тока верхний электрод сжимает заготовки, и их деформируют до окончания процесса сварки.

Таким образом, за один ход машины выполняется столько сварных точек, сколько было отштамповано выступов.

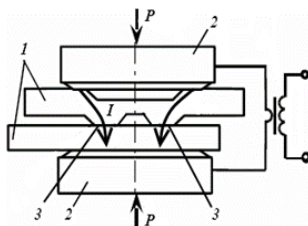


Рис. 1.16. Принципиальная схема рельефной сварки:

1 – свариваемые заготовки; 2 – плоские электроды; 3 – выступы

Рельефная сварка используется для крепления кронштейнов к листовым деталям (например, скобы к капоту автомобиля, петли для навески дверей к кабине), сварки строительной арматуры, приварки крепежных деталей (болтов, гаек и шпилек) к листовому материалу, крепления проволоки к тонким деталям в радиоэлектронике и т. п. Рельефная сварка по непрерывным рельефам обеспечивает получение герметичных соединений.

## 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКОЙ

### 2.1. Подготовка деталей под сварку

Подготовку свариваемых кромок деталей большой толщины выполняют кислородной резкой или обработкой на строгальных или фрезерных станках. Для подготовки тонколистового металла используют кромкогибочные прессы или специальные станки.

Гибку деталей и заготовок проводят на металлогибочных вальцах. Здесь же изготавливают обечайки для сварки различных емкостей цилиндрической формы.

По форме подготовки кромок при ручной дуговой сварке соединения бывают без разделки кромок и с различными видами разделки (рис. 2.1), при этом размеры конструктивных элементов разделки выбирают согласно ГОСТ 5264–80. Выполнять швы можно как с одной стороны соединений (односторонние), так и с двух сторон (двусторонние).

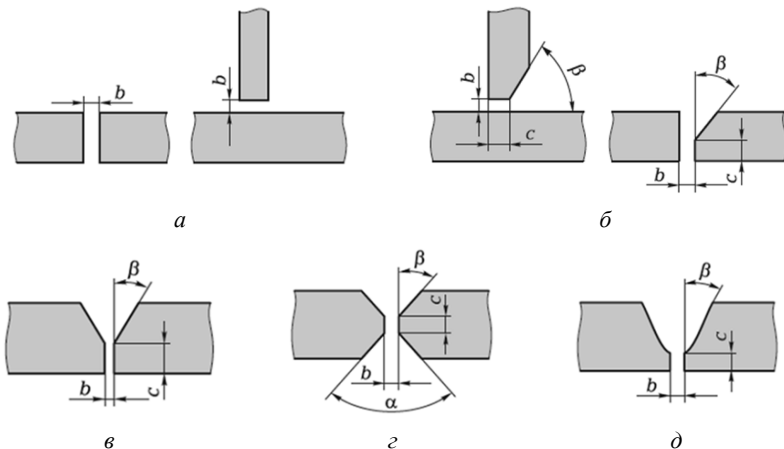


Рис. 2.1. Конструктивные элементы разделки кромок под сварку:

*a* – без разделки кромок; *б* – с разделкой кромок одной детали;  
*в* – V-образная разделка; *г* – X-образная разделка; *д* – U-образная разделка;  
*б* – зазор; *с* – притупление;  $\beta$  – угол скоса кромок;  $\alpha$  – угол разделки кромок

Подготовка кромок под сварку включает в себя их тщательную очистку от ржавчины, окалины, краски, масла и других загрязнений поверхности. Кромки очищают стальными вращающимися щетками, гидropескоструйным и дробеметным способами, шлифовальными кругами, пламенем сварочной горелки, травлением в растворах кислот и щелочей.

Подготовленные детали собирают под сварку. При сборке следует выдержать необходимые зазоры и требуемое совмещение кромок. Точность сборки проверяют шаблонами, измерительными линейками и щупами (рис. 2.2).

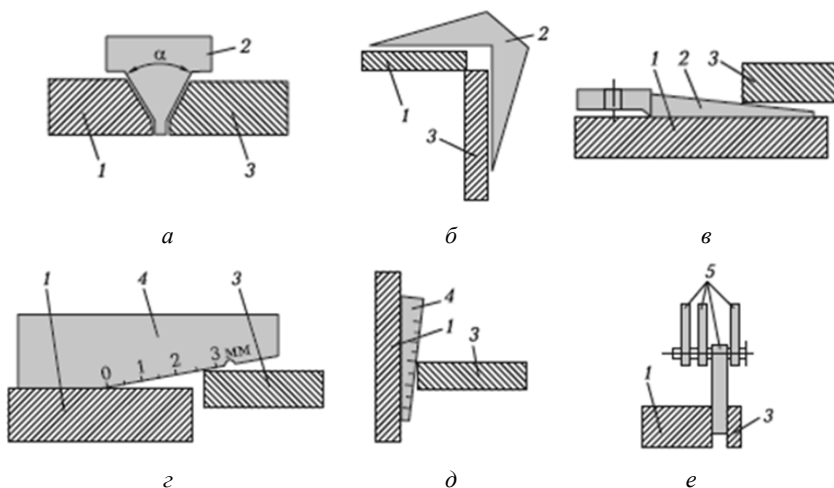


Рис. 2.2. Контроль качества сборки деталей к сварке с использованием:

- а – шаблона для проверки угла  $\alpha$  разделки кромок;
  - б – шаблона для проверки прямого угла между кромками;
  - в – шаблона для проверки зазора между кромками;
  - г – измерительной линейки для определения превышения кромки;
  - д – измерительной линейки для измерения зазора в тавровом соединении;
  - е – щупа для определения зазора в стыковом соединении;
- 1, 3 – свариваемые детали; 2 – шаблон; 4 – измерительная линейка; 5 – щупы

Сборку выполняют в специальных приспособлениях или на выверенных стеллажах. Временное закрепление деталей проводят струбцинами, скобами или прихваткой короткими швами. Число прихваток и их размер определяют в зависимости от технологических условий.

## 2.2. Выбор режимов при сварке покрытыми электродами

Под режимом сварки понимают совокупность контролируемых параметров, при которой обеспечивается устойчивое горение дуги и получение швов заданных размеров, формы и свойств. Параметры режима подразделяются на основные и дополнительные. К основным параметрам относятся диаметр электрода, сила сварочного тока, его род и полярность, напряжение дуги; к дополнительным – состав и толщина покрытий, положение шва в пространстве, число проходов.

Диаметр электродов выбирают в зависимости от толщины металла (для стыковых швов) или катета шва (для угловых швов). Для получения швов в нижнем положении в табл. 2.1 представлено примерное соотношение между диаметром электрода  $d$  и толщиной металла  $S$ , а в табл. 2.2 – между диаметром электрода  $d$  и катетом шва  $k$ .

Таблица 2.1

Соотношение между толщиной металла  $S$  и диаметром электрода  $d$

$S$ , мм	1–2	3–4	5–10	12–24	30–60
$d$ , мм	1,6; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0	5,0; 6,0	6,0 и более

Таблица 2.2

Соотношение между катетом шва  $k$  и диаметром электрода  $d$

$k$ , мм	2	3	4	5	6–8
$d$ , мм	1,6; 2,0	2,5; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0	6,0

Выполнение вертикальных, горизонтальных и потолочных швов независимо от толщины свариваемого металла производится электродами небольшого диаметра (до 4,0 мм), т. к. при этом легче предупредить стекание жидкого металла и шлака из сварочной ванны. При сварке многослойных швов для лучшего провара корня шва первый шов сваривают электродом диаметром 3,0 или 4,0 мм, а последующие – электродами большего диаметра.

Силу сварочного тока обычно устанавливают в зависимости от выбранного диаметра электрода. При сварке швов в нижнем положении для электродов диаметром 3,0–6,0 мм сила тока определяется по формуле

$$I_{\text{св}} = Kd,$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от диаметра электрода (табл. 2.3);  
 $d$  – диаметр электрода, мм.

Таблица 2.3

Зависимость коэффициента  $K$  от диаметра электрода  $d$

$d$ , мм	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$K$	25–30	30–45	35–50	40–45	45–60

При сварке на вертикальной плоскости силу тока уменьшают на 10 %–15 %, а в потолочном положении – на 15 %–20 % по сравнению со значением, выбранным для нижнего положения.

*Род тока и полярность* устанавливают в зависимости от вида свариваемого металла и его толщины. При сварке постоянным током обратной полярности на электроде выделяется больше теплоты. Исходя из этого обратная полярность применяется при сварке тонких деталей с целью предотвращения прожога и при сварке легированных сталей во избежание их перегрева. При сварке углеродистых сталей применяют переменный ток с учетом экономичности процесса.

*Напряжение дуги* при ручной дуговой сварке изменяется от 20 до 36 В и при расчетах режима не регламентируется.

Ручную сварку можно производить во всех пространственных положениях шва, но лучше всего в нижнем, т. к. оно более удобно и обеспечивает лучшие условия для достижения высокого качества сварного шва.

### 2.3. Технология выполнения ручной дуговой сварки

Технология ручной дуговой сварки предусматривает выполнение следующих операций: возбуждение дуги, перемещение электрода в процессе сварки, порядок наложения швов в зависимости от особенностей сварных соединений, зачистку сварных соединений и швов.

Возбуждение (зажигание) сварочной дуги можно производить двумя способами: чирканьем или касанием. Первый способ: концом электрода чиркают о поверхность металла (напоминает движение зажигаемой спички). Данный способ чаще всего применяют на новом электроде. Этот метод прост и особых профессиональных навыков не требует. Второй способ: электрод подводят вертикально (пер-

пендикулярно) к месту начала сварки и после легкого прикосновения к поверхности изделия отводят вверх на расстояние примерно 3–5 мм. Чаще всего этот способ применяют в труднодоступных, узких и прочих неудобных местах.

В процессе сварки необходимо поддерживать определенную длину дуги, которая зависит от марки и диаметра электрода. Ориентировочно нормальная длина дуги должна находиться в пределах  $l_d = (0,5-1,0)d_z$ .

Длина дуги оказывает существенное влияние на качество сварного шва и его геометрическую форму. Длинная дуга способствует более интенсивному окислению и азотированию расплавляемого металла, увеличивает разбрызгивание, а при сварке покрытыми электродами основного типа приводит к пористости металла.

**Перемещение электрода в процессе сварки.** Для образования сварного шва электроду придается сложное движение в трех направлениях. Первое движение – это поступательное движение электрода в направлении его оси. Оно производится со скоростью плавления электрода и обеспечивает поддержание определенной длины дуги. Второе движение электрода направлено вдоль оси шва и производится со скоростью сварки. В результате этих двух движений образуется узкий, шириной не более  $1,5d$ , так называемый ниточный шов. Такой шов применяется при сварке тонкого металла, а также при выполнении корня шва при многослойной (многопроходной) сварке. Третье движение – колебание конца электрода поперек оси шва, которое необходимо для образования валика определенной ширины, хорошего провара кромок и замедления остывания сварочной ванны. Колебательные движения электрода поперек оси шва могут быть различными (рис. 2.3) и определяются формой, размером и положением шва в пространстве. Наиболее распространенными видами поперечных движений электрода являются: прямые по ломаной линии (рис. 2.3, *а*); полумесяцем, обращенным концами к наплавленному шву (рис. 2.3, *б*); полумесяцем, обращенным концами к направлению сварки (рис. 2.3, *в*); треугольниками (рис. 2.3, *г*); петлеобразные с задержкой в определенных местах (рис. 2.3, *д*).

Поперечные движения по ломаной линии (рис. 2.3, *а*) 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 полуме-



сящем, обращенным концами к наплавленному шву (рис. 2.3, б), 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 полумесяцем, обращенным концами к направлению сварки (рис. 2.3, в), применяют для сварки в нижнем положении, а также для вертикальных и потолочных швов с выпуклой наружной поверхностью. Движения треугольником (рис. 2.3, г) 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 шва и его удовлетворительное формирование. Петлеобразные движения (рис. 2.3, д) применяют для усиленного прогревания кромок шва, особенно при сварке высоколегированных сталей. Электрод задерживают на краях, чтобы не было прожога в центре шва или вытекания металла при сварке вертикальных швов.

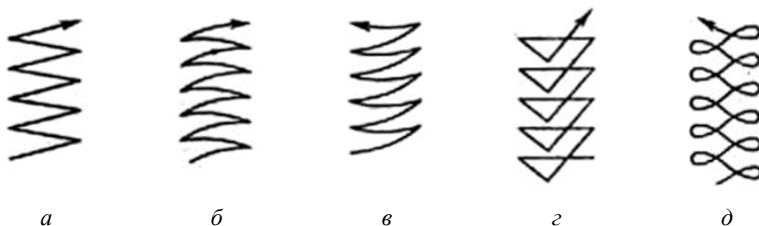


Рис. 2.3. Виды колебательного движения электрода при ручной сварке

При обрыве дуги в металле образуется кратер, являющийся местом скопления неметаллических включений и преимущественного зарождения трещин. В связи с этим при повторном зажигании дуги, например при смене электрода, следует переплавить застывший металл кратера и только после этого продолжить процесс сварки. Заканчивают сварку заваркой кратера. Для этого электрод держат неподвижно до естественного обрыва дуги или быстро укорачивают дугу вплоть до частых коротких замыканий, после чего ее резко обрывают.

### **Порядок наложения швов в зависимости от особенностей сварных соединений**

**Выполнение стыковых швов.** Стыковые швы выполняют для получения стыковых соединений. Стыковые соединения со скосом одной или двух кромок могут выполняться одно- или многослой-

ными швами. При сварке однослойным швом дугу возбуждают на краю скоса кромки, а затем, переместив ее вниз, проваривают корень шва. На скосах кромок движение электрода замедляют, чтобы лучше проварить их. При переходе дуги с одной кромки на другую скорость движения электрода увеличивают во избежание прожога в зазоре между кромками.

Сварку многослойных швов начинают, тщательно проваривая корень шва электродом диаметром не более 4 мм, а последующие швы наплавляют уширенными валиками, используя электроды большего диаметра. Число слоев при сварке стыковых швов выбирается из табл. 2.4.

Таблица 2.4

Число слоев в зависимости толщины металла  $S$

$S$ , мм	1–5	6	8	10	12	14	16 и более
Число слоев	1	2	2–3	3–4	4	4–5	5–6

При выполнении многослойного шва после заполнения каждого последующего слоя предыдущий слой тщательно зачищают от шлака, т. к. в противном случае между отдельными слоями могут образовываться шлаковые включения. Последними проходами создается небольшая выпуклость шва высотой 2–3 мм над поверхностью основного металла.

Сварку соединений ответственных конструкций большой толщины (свыше 25 мм) в случае появления объемных напряжений и возрастания опасности образования трещин выполняют с применением специальных приемов заполнения швов каскадом или блоками (рис. 2.4). При сварке каскадом сначала в разделку кромок наплавляют первый слой небольшой длины 200–300 мм, затем второй слой, перекрывающий первый и имеющий примерно в два раза большую длину. Третий слой перекрывает второй и длиннее его на 200–300 мм. Так наплавляют слои до тех пор, пока на небольшом участке над первым слоем разделка не будет заполнена. Затем от этого участка сварку ведут в разные стороны короткими швами тем же способом. Таким образом, зона сварки все время находится в горячем состоянии, что предупреждает появление трещин. При блочном методе используют обратноступенчатую сварку, при которой многослойный шов выполняют отдельными участками с полным заполнением каждого из них.

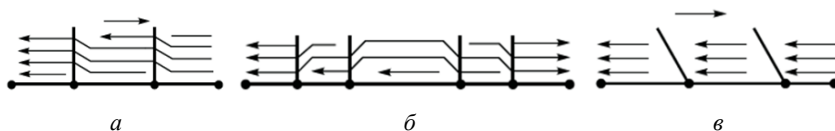


Рис. 2.4. Способы заполнения разделки кромок при многослойной сварке:  
а – односторонним каскадом; б – двусторонним каскадом; в – блоками

**Выполнение угловых швов.** Угловые швы применяют при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений. Сварку угловых швов проводят однослойными «в лодочку» или однослойными и многослойными наклонным электродом (рис. 2.5).

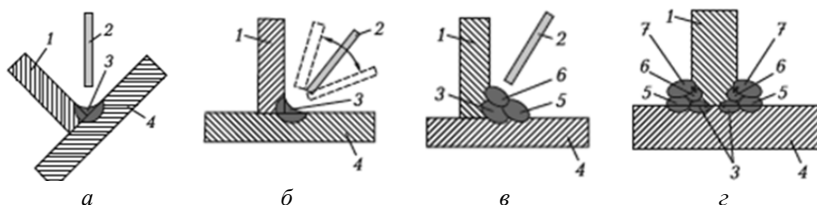


Рис. 2.5. Способы выполнения угловых швов:  
а – однослойный «в лодочку»; б – однослойный с наклоном электрода (штриховой линией обозначены последовательные положения электрода);  
в – многослойный с наклоном электрода; г – двусторонний многослойный;  
1 – стенка; 2 – электрод; 3 – корневой (первый) слой; 4 – полка;  
5, 6 – второй и третий слои шва; 7 – четвертый слой

При выполнении угловых швов «в лодочку» (рис. 2.5, а) наплавленный металл располагается в желобке, образуемом стенкой и полкой. Это обеспечивает правильное формирование шва и хороший провар его корня и стенки без опасности подрезов, а также дает возможность наплавлять за один проход швы большого сечения. Однако не всегда можно установить детали в положение «в лодочку», поэтому в большинстве случаев соединения сваривают в положении, когда одна деталь расположена горизонтально, а вторая – вертикально. Выполнение угловых швов при таком положении проводят наклонным электродом (рис. 2.5, б). При этом возможно неполное проплавление корня шва или кромки горизонтальной детали. Во избежание непровара дугу возбуждают на горизонтальной полке, отступив от границы шва на 3–4 мм. Затем дугу перемещают к вершине шва, где ее немного задерживают для лучшего провара его корня, и подни-

мают вверх, проваривая вертикальную полку. Этот же процесс после некоторого перемещения электрода вперед повторяют и в обратном направлении. Угол наклона электрода в процессе сварки изменяют в зависимости от того, где в данный момент горит дуга. Начинать процесс сварки на вертикальной стенке нельзя, т. к. в этом случае расплавленный металл с электрода будет натекает на еще холодный основной металл горизонтальной полки, в результате чего образуется непровар. На вертикальной стенке возможно образование подрезов.

При многослойной сварке для лучшего провара корня шва первый слой выполняют узким или ниточным швом электродом диаметром 3–4 мм без колебательных движений. При наплавке швов с катетами более 8 мм сварку ведут в два слоя и более (рис. 2.5, в).

Угловые швы при одностороннем или двустороннем скосе кромок вертикального элемента (рис. 2.5, г) сваривают в один или несколько слоев в зависимости от толщины свариваемого металла.

**Выполнение швов разной длины.** По протяженности швы подразделяются на короткие (до 250 мм), средние (250–1000 мм) и длинные (свыше 1000 мм), схемы выполнения которых представлены на рис. 2.6.

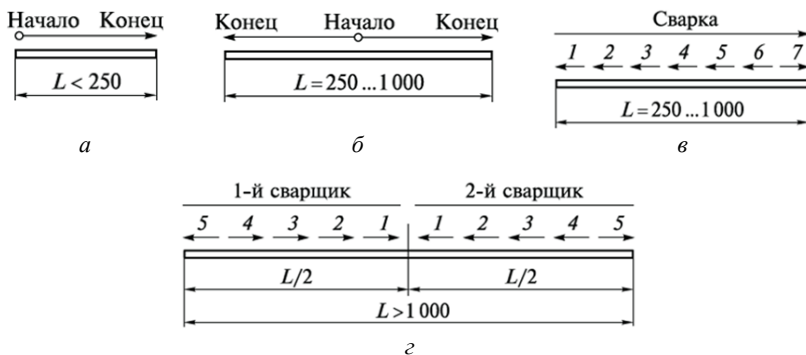


Рис. 2.6. Выполнение швов разной длины:

а – коротких; б, в – средней длины; г – длинных;

1–7 – порядок и направление сварки участков шва;  $L$  – длина шва

Короткие швы выполняют напроход в одном направлении, т. е. при движении электрода от начала шва к концу (рис. 2.6, а). При выполнении швов средней длины и длинных возможно коробление изделий. Чтобы избежать этого, швы средней длины выполняют напроход от середины сварного соединения к концам (рис. 2.6, б)

и обратноступенчатым способом (рис. 2.6, в), сущность которого состоит в том, что каждый участок заваривается в направлении, обратном общему направлению сварки, а последний всегда заваривается «на выход». Длинные швы выполняют от середины к концам обратноступенчатым способом (рис. 2.6, г). В данном случае возможно организовать работу одновременно двух сварщиков.

**Особенности сварки в различных пространственных положениях.** В зависимости от положения швов в пространстве (нижний, вертикальный, горизонтальный, потолочный) существенно меняются условия формирования валика шва, его внешний вид и качество, а также производительность сварки.

*Нижнее положение* наиболее удобно для сварки, т. к. капли электродного металла легко переходят в сварочную ванну под действием собственной силы тяжести и жидкий металл не вытекает из нее. Кроме того, легко наблюдать за процессом формирования шва. В процессе сварки электрод держат по направлению сварки под углом  $10^{\circ}$ – $20^{\circ}$ .

При сварке в *вертикальном положении* расплавленный металл стремится стечь вниз, поэтому вертикальные швы выполняют очень короткой дугой. Вертикальные швы выполняют как снизу вверх, так и сверху вниз. В первом случае дуга возбуждается в нижней точке вертикально расположенных пластин. После образования ванны жидкого металла электрод, установленный сначала горизонтально, отводят немного вверх, при этом застывший металл шва образует подобие полочки, на которой удерживаются последующие капли металла. Для предотвращения вытекания жидкого металла из ванны необходимо совершать колебательные движения электродом перпендикулярно оси шва с отводом его вверх и поочередно в обе стороны. Это обеспечивает быстрое затвердевание жидкого металла.

Сварку сверху вниз выполняют при малой толщине металла или при наложении первого слоя шва в процессе многослойной сварки. В этом случае подтекающий под дугу жидкий металл уменьшает возможность образования сквозных прожогов. В начале сварки дуга возбуждается в верхней точке пластин при горизонтальном расположении электрода. После образования ванны жидкого металла электрод наклоняют на  $15^{\circ}$ – $20^{\circ}$  с таким расчетом, чтобы дуга была направлена на основной и наплавленный металл. Для улучшения условий формирования шва амплитуда колебаний электрода должна

быть небольшой, а дуга – очень короткой, чтобы капли расплавленного металла удерживались от стекания.

Вертикальные швы на металле большой толщины с Х-образной подготовкой кромок сваривают начиная с верхней части швов. Когда работают два сварщика, один выполняет первый слой в свариваемой секции, сразу после этого с обратной стороны соединения вырубает корень шва, а другой сварщик накладывает все слои на своей стороне секции. В это время первый сварщик накладывает все слои шва, находящиеся на его стороне секции. В такой же последовательности сваривают все последующие секции. Сварку ведут без перерывов по горячему предыдущему слою.

При выполнении швов в *горизонтальном положении* для предупреждения стекания жидкого металла скос кромок обычно делают на одной верхней детали. Дуга в этом случае возбуждается на нижней горизонтальной кромке, а затем переносится на притупление деталей и на верхнюю кромку, поднимая стекающую каплю металла. Колебательные движения электродом совершают по спирали. Горизонтальными сварными швами легче выполнять нахлесточные соединения, чем стыковые, т. к. горизонтальная кромка листа способствует удержанию расплавленного металла от стекания. Горизонтальные швы большой протяженности при К-образной подготовке кромок (два симметричных скоса одной кромки, обычно верхней) делят на участки с таким расчетом, чтобы два сварщика могли сваривать двусторонний шов на таком участке в течение одной смены.

Выполнение швов в *потолочном положении* – трудоемкая операция, потому что сила тяжести препятствует переносу металла с электрода в сварочную ванну, а расплавленный металл стремится вытечь из ванны вниз, поэтому в процессе сварки необходимо добиться, чтобы объем сварочной ванны был небольшим. Этого достигают, применяя электроды малого диаметра (не более 3–4 мм) и небольших сварочных токов. Основное условие получения качественного шва – поддержание самой короткой дуги путем периодических замыканий электрода с ванной жидкого металла. В момент замыкания капля металла под действием сил поверхностного натяжения втягивается в сварочную ванну. В момент удаления электрода дуга гаснет и металл шва затвердевает. Одновременно электроду сообщаются колебательные движения поперек шва. Наклон электрода к поверхности детали должен составлять  $70^{\circ}$ – $80^{\circ}$  в направлении сварки.

**Зачистка сварных соединений и швов.** При сварочных работах в металле самого сварочного шва и в прилегающей к нему зоне могут образоваться шлаковые включения – результат термического воздействия на металл заготовок, продукты сгорания материала электродов и пр. Шлаковые наслоения существенно ухудшают качество сварного соединения, его долговечность и внешний вид. Причины образования шлаков – сварка длинной дугой, высокая скорость прохода и малый сварочный ток. Ввиду того, что шлаковые включения ослабляют прочность шва, их следует в обязательном порядке зачищать, причем при многослойной сварке – после каждого слоя. При любых сварочных работах в обязательном порядке нужно соблюдать последовательность наложения слоев, зачистки шлака и зачистки сварочного шва в целом.

Зачистка сварочных швов выполняется в три этапа:

- *очистка зоны вокруг шва* от окалины, шлаков и удаление цветов побежалости, проводимая путем отбивания молотком с заостренным концом шлаковых включений от затвердевшего металла на сварочном шве и удаления осколков при помощи металлической щетки;

- *грубая зачистка* для выравнивания плоскости сварного шва с плоскостью изделия, осуществляемая на соответствующих станках, а на мелких конструкциях – специальными ножами для зачистки швов или абразивными кругами шлифовальной машинки;

- *полировка* сварного шва (завершающий этап сварочного производства для подготовки изделия к покраске), проводимая с использованием полировальных кругов шлифовальной машинки.

## **2.4. Дефекты сварочных соединений и причины их возникновения**

В процессе образования сварных соединений в металле шва и зоне термического влияния могут возникать различные отклонения от установленных норм и технических требований, приводящие к ухудшению работоспособности сварных конструкций, снижению их эксплуатационной надежности, ухудшению внешнего вида изделия. Такие отклонения называют дефектами.

Дефекты сварных соединений различают по месту их расположения (наружные и внутренние) и причинам возникновения. В зависимости от причин возникновения их можно разделить на две группы.

К первой группе относят дефекты, связанные с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе образования, формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания сварного соединения (горячие и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, поры, шлаковые включения, неблагоприятные изменения свойств металла шва и зоны термического влияния). Ко второй группе дефектов, которые называют дефектами формирования швов, относят дефекты, происхождение которых связано в основном с нарушением режима сварки, неправильной подготовкой и сборкой элементов конструкции под сварку, неисправностью оборудования, недостаточной квалификацией сварщика и другими нарушениями технологического процесса. К дефектам этой группы относятся несоответствие швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры и др. Виды дефектов приведены на рис. 2.7. Дефектами формы и размеров сварных швов являются их неполномерность, неравномерные ширина и высота, бугристость, седловины, перетяжки и т. п. Эти дефекты снижают прочность и ухудшают внешний вид шва. Причины их возникновения при механизированных способах сварки – колебания напряжения в сети, проскальзывание проволоки в подающих роликах, неравномерная скорость сварки из-за люфтов в механизме перемещения сварочного автомата, неправильный угол наклона электрода, протекание жидкого металла в зазоры, их неравномерность по длине стыка и т. д. Дефекты формы и размеров швов косвенно указывают на возможность образования внутренних дефектов в шве.

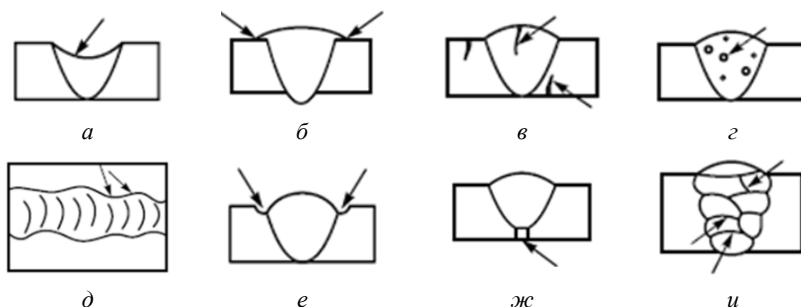


Рис. 2.7. Виды дефектов сварных швов:

*а* – ослабление шва; *б* – наплыв; *в* – трещины; *г* – поры; *д* – неравномерность ширины; *е* – подрез; *ж* – непровар; *и* – шлаковые включения



*Наплывы* образуются в результате натекаания жидкого металла на поверхность холодного основного металла без сплавления с ним. Они могут быть местными – в виде отдельных застывших капель, а также иметь значительную протяженность вдоль шва. Чаще всего наплывы образуются при выполнении горизонтальных сварных швов на вертикальной плоскости. Причины образования наплывов – большой сварочный ток, слишком длинная дуга, неправильный наклон электрода, большой угол наклона изделия при сварке на спуск. При выполнении кольцевых швов наплывы образуются при недостаточном или излишнем смещении электрода с зенита. В местах наплывов часто могут выявляться непровары, трещины и др.

*Подрезы* представляют собой продолговатые углубления (канавки), образовавшиеся в основном металле вдоль края шва. Они возникают в результате большого сварочного тока и длинной дуги. Основной причиной подрезов при выполнении угловых швов является смещение электрода в сторону вертикальной стенки. Это вызывает значительный разогрев металла вертикальной стенки и его стекание при оплавлении на горизонтальную стенку. Подрезы приводят к ослаблению сечения сварного соединения и концентрации в нем напряжений, что может явиться причиной разрушения.

*Прожоги* – сквозные отверстия в шве, образованные в результате вытекания части металла ванны. Причинами их образования могут быть большой зазор между свариваемыми кромками, недостаточное притупление кромок, чрезмерный сварочный ток, недостаточная скорость сварки. Наиболее часто прожоги образуются при сварке тонкого металла и выполнении первого прохода многослойного шва. Прожоги могут также образовываться в результате недостаточно плотного поджатия сварочной подкладки или флюсовой подушки.

*Непроваром* называют местное несплавление кромок основного металла или несплавление между собой отдельных валиков при многослойной сварке. Непровары уменьшают сечение шва и вызывают концентрацию напряжений в соединении, что может резко снизить прочность конструкции. Причины образования непроваров – плохая зачистка металла от окислы, ржавчины и загрязнений, малый зазор при сборке, большое притупление, малый угол скоса кромок, недостаточный сварочный ток, большая скорость сварки, смещение электрода от центра стыка. Непровары выше допустимой величины подлежат удалению и последующей заварке.

*Трещины*, как и непровары, являются наиболее опасными дефектами сварных швов. Они могут возникать как в самом шве, так и в околошовной зоне и располагаться вдоль и поперек шва. По своим размерам трещины могут быть макро- и микроскопическими. На образование трещин влияет повышенное содержание углерода, а также примеси серы и фосфора.

*Шлаковые включения*, представляющие собой вкрапления шлака в шве, образуются в результате плохой зачистки кромок деталей и поверхности сварочной проволоки от оксидов и загрязнений. Они возникают при сварке длинной дугой, недостаточном сварочном токе и чрезмерно большой скорости сварки, а в случае многослойной сварки – при недостаточной зачистке шлаков с предыдущих слоев. Шлаковые включения ослабляют сечение шва и его прочность.

*Газовые поры* появляются в сварных швах при недостаточной полноте удаления газов при кристаллизации металла шва. Причины пор – повышенное содержание углерода при сварке сталей, загрязнения на кромках, использование влажных флюсов, защитных газов, высокая скорость сварки, неправильный выбор присадочной проволоки. Поры могут располагаться в шве отдельными группами, в виде цепочек или единичных пустот. Иногда они выходят на поверхность шва в виде воронкообразных углублений, образуя так называемые свищи. Поры также ослабляют сечение шва и его прочность, сквозные поры приводят к нарушению герметичности соединений.

Микроструктура шва и зоны термического влияния в значительной степени определяет свойства сварных соединений и характеризует их качество.

К дефектам микроструктуры относят следующие: повышенное содержание оксидов и различных неметаллических включений, микропоры и микротрещины, крупнозернистость, перегрев, пережог металла и др. Перегрев характеризуется чрезмерным укрупнением зерна и огрублением структуры металла. Более опасен пережог – наличие в структуре зерен с окисленными границами. Такой металл имеет повышенную хрупкость и не поддается исправлению. Причиной пережога является плохая защита сварочной ванны при сварке, а также сварка на чрезмерно большой силе тока.

### 3. СВАРОЧНАЯ МАСТЕРСКАЯ КАФЕДРЫ

Сварочная учебная мастерская общей площадью 180 м<sup>2</sup> имеет 6 отдельных кабин (рабочих постов сварщика), оснащенных вытяжной вентиляцией и необходимыми приспособлениями, инструментом и оборудованием для сварки.

#### 3.1. Рабочий пост сварщика

**Сварочный пост** – рабочее место сварщика, оснащенное комплектом технологически связанного между собой оборудования, необходимыми приспособлениями и инструментом.

Стационарный пост сварщика представляет собой открытую сверху кабину размером 2000×3000×2000 мм (рис. 3.1).

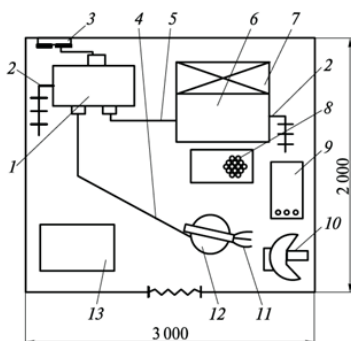


Рис. 3.1. Планировка стационарного поста сварщика:

- 1 – источник питания дуги; 2 – заземление; 3 – магнитный пускатель  
источника питания; 4, 5 – прямой и обратный токоподводящие провода;  
6 – стол; 7 – вентиляция; 8 – коврик; 9 – электроды; 10 – щиток;  
11 – электрододержатель; 12 – стул; 13 – ящик для отходов

Стенки кабины изготовлены из кирпича и окрашены светло-серой краской, хорошо поглощающей ультрафиолетовое излучение. Пол выполнен из огнестойкого материала – бетона. Дверной проем в кабине закрывается брезентовым занавесом на кольцах, пропитанным огнестойким составом. Освещенность кабины составляет не менее 80 лк. Кроме общей вентиляции кабина оборудована местной вентиляцией, обеспечивающей воздухообмен 40 м<sup>3</sup>/ч. Сварку выпол-

няют на рабочем столе высотой 900 мм с чугунной крышкой толщиной 20 мм. К нижней части крышки стола приварен стальной болт, служащий для крепления токоподводящего провода от источника сварочного тока и провода заземления стола. Для удобства работы в кабине установлен металлический стул с подъемным винтовым сиденьем. Под ногами у сварщика находится резиновый коврик. В кабине отведено место для хранения электрододержателя, электродов, сварочной маски (щитка), а также ящика для отходов. В кабине устанавливается источник сварочного тока, который подключается с помощью магнитного пускателя.

### 3.2. Инструменты и принадлежности электросварщика

Для закрепления покрытого электрода и подвода к нему сварочного тока используются электрододержатели, являющиеся основным инструментом электросварщика (рис. 3.2). Электрододержатели для ручной сварки имеют массу не более 0,5 кг и конструкцию, обеспечивающую надежное закрепление и быструю смену электродов, а также обладают достаточной механической прочностью и хорошими тепло- и электроизоляционными свойствами применяемых материалов. В зависимости от силы сварочного тока предусмотрены три типа электрододержателей: рассчитанные на ток до 125 А, 125–315 А и 315–500 А.

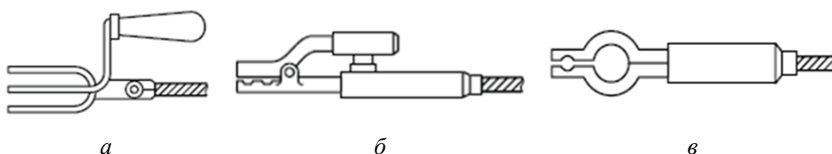


Рис. 3.2. Типы электрододержателей:

а – вилочный; б – щипцовый; в – с пружинящим кольцом

Для защиты глаз и лица электросварщика от прямых излучений сварочной дуги, брызг расплавленного металла и искр применяются защитные маски и щитки. Предусмотрены два типа щитков: ручные с непрозрачным корпусом (тип РН) и наголовные с непрозрачным корпусом (тип НН). Корпус щитков изготавливается из токонепроводящего и невоспламеняющегося материала, стойкого к брызгам расплавленного металла. Обычно применяют черную фибру.

Помимо отмеченных принадлежностей сварщиком используется набор дополнительного инструмента: стальные щетки для зачистки кромок перед сваркой и удаления с поверхности швов остатков шлака, зубило, набор шаблонов для проверки размеров швов и формы подготовленных кромок, метр, угольник, чертилка, ящик для хранения и переноски инструмента.

Спецодежда сварщиков (куртка, брюки, рукавицы) сшиты из плотной трудновоспламеняемой ткани – брезента, а ботинки – из натуральной кожи с огнестойкой пропиткой и подошвой из полиуретана/нитрила резинового.

### 3.3. Оборудование сварочной мастерской

В мастерской установлено следующее сварочное оборудование: выпрямители сварочные ВД-306УЗ, инверторы сварочные JASIC MIG 500 (J91/N291), Oliver MMA 200 IGBT, WSE-315 (TIG AC/DC), BA-350, Nebula 315/322, JASIC TIG 500 P AC/DC (J1210) и машина для точечной сварки с вертикальным ходом DTN-35 KVA.

**Выпрямитель сварочный ВД-306УЗ** (рис. 3.3) – устройство, предназначенное для преобразования переменного тока в постоянный, применяется для ручной дуговой сварки покрытыми электродами (ММА), а также для сварки в защитном газе (TIG), наплавки и резки металлов.



Рис. 3.3. Внешний вид выпрямителя сварочного ВД-306УЗ

Основные технические характеристики выпрямителя сварочного ВД-306УЗ представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Технические характеристики выпрямителя сварочного ВД-306УЗ

Показатель	Значение
Напряжение питания сети, В	380
Частота, Гц	50/60
Номинальный сварочный ток, А, не менее	315
Пределы регулирования сварочного тока, А	30–315
Номинальное рабочее напряжение, В, не менее	32
Пределы регулирования напряжения, В	22–32
Напряжение холостого хода, В, не более	80
КПД, %	64
Потребляемая мощность, кВт	11,4
Диаметр электрода, мм	2–5
Габаритные размеры, мм	560×510×660
Масса, кг	104

Преимущества выпрямителя сварочного ВД-306УЗ:

- устойчивое горение сварочной дуги и снижение разбрызгивания металлов за счет применения постоянного тока;
- возможность сварки различных металлов и сплавов (углеродистых и легированных сталей, сплавов на основе меди) с использованием соответствующих электродов или защитных газов;
- простая конструкция;
- плавная настройка регулировки сварочного тока.

Недостатки выпрямителя сварочного ВД-306УЗ:

- большая масса и габаритные размеры, приводящие к сложности транспортировки;
- высокое энергопотребление по сравнению с современными инверторными источниками;
- ограниченная точность регулировки тока по сравнению с цифровыми моделями;
- чувствительность к перепадам напряжения;
- требовательность к питанию (трехфазная сеть 380 В).

Выпрямитель сварочный ВД-306УЗ предназначен для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией в условиях цехов, мастерских и на строительных площадках.

**Инвертор сварочный JASIC MIG 500 (J91/N291)** (рис. 3.4) – устройство, предназначенное для преобразования переменного тока в постоянный, применяется для механизированной дуговой сварки

в защитном газе (MIG/MAG), сварки порошковой проволокой (FCAW), а также ручной дуговой сварки покрытыми электродами (MMA).



Рис. 3.4. Внешний вид инвертора сварочного JASIC MIG 500 (J91/N291)

Основные технические характеристики инвертора сварочного JASIC MIG 500 (J91/N291) представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Технические характеристики инвертора сварочного JASIC MIG 500 (J91/N291)

Показатель	Значение
Напряжение питания сети, В	380
Частота, Гц	50/60
Номинальный сварочный ток, А, не менее	500
Пределы регулирования сварочного тока, А:	
– MIG/MAG;	30–500
– MMA	20–500
Номинальное рабочее напряжение, В, не менее	48
Пределы регулирования напряжения, В	15–48
Напряжение холостого хода, В, не более	48–70
КПД, %	85
Потребляемая мощность, кВт	24,7
Скорость подачи сварочной проволоки, м/мин	1,5–18,0
Диаметр проволоки (MIG/MAG), мм	0,8–1,6
Диаметр электрода (MMA), мм	до 6
Габаритные размеры, мм	595×285×543
Масса, кг	35

Преимущества инвертора сварочного JASIC MIG 500 (J91/N291):

- высокая мощность, что позволяет осуществлять сварку толстых листов металлов (до 20–25 мм);
- возможность сварки различных металлов и сплавов (низкоуглеродистых и легированных сталей, в т. ч. коррозионностойких, алюминия и его сплавов);
- обеспечивает получение ровного шва даже при нестабильном напряжении сети за счет использования инверторной технологии;
- низкое энергопотребление по сравнению с трансформаторными аналогами;
- автоматический выбор режимов сварки (напряжение, скорость подачи проволоки) в зависимости от выбранного материала и толщины заготовки за счет программ, заложенных в систему управления;
- компактные размеры и масса;
- возможность использования дополнительных функций: Hot Start (горячий старт) облегчает поджиг дуги; Anti-Stick (антиприлипание) автоматически отключает ток при залипании электрода; Arc Force (форсирование дуги) предотвращает обрыв дуги при колебаниях расстояния между электродом и заготовкой; защита от перегрева.

Недостатки инвертора сварочного JASIC MIG 500 (J91/N291):

- высокая стоимость;
- сложность в обслуживании из-за чувствительности электронных компонентов к пыли, влаге и механическим повреждениям;
- требовательность к питанию (3-фазная сеть 380 В).

Инвертор сварочный JASIC MIG 500 (J91/N291) предназначен для работы в промышленных цехах и мастерских, для сварки строительных металлоконструкций, при ремонте автомобилей и сельскохозяйственной техники, сварки ответственных узлов, например трубопроводов, резервуаров высокого давления.

**Инвертор сварочный Oliver MMA 200 IGBT** (рис. 3.5) – устройство, предназначенное для преобразования переменного тока в постоянный, применяется для дуговой сварки покрытыми электродами (MMA).

Основные технические характеристики инвертора сварочного Oliver MMA 200 IGBT представлены в табл. 3.3.

Преимущества инвертора сварочного Oliver MMA 200 IGBT:

- малые размеры и масса, обеспечивающие мобильность устройства;



- простота использования за счет наличия интуитивной панели управления с плавной регулировкой;
- равномерное горение дуги даже при нестабильном напряжении в сети за счет использования IGBT-технологии;
- низкое потребление энергии по сравнению с трансформаторными аналогами;
- возможность сварки различных металлов и сплавов (чугуна, углеродистых и коррозионностойких сталей);
- возможность использования дополнительных функций: Hot Start (горячий старт) облегчает поджиг дуги; Anti-Stick (антиприлипание) автоматически отключает ток при залипании электрода; Arc Force (форсирование дуги) предотвращает обрыв дуги при колебаниях расстояния между электродом и заготовкой.



Рис. 3.5. Внешний вид инвертора сварочного Oliver MMA 200 IGBT

Таблица 3.3

Технические характеристики инвертора сварочного Oliver MMA 200 IGBT

Показатель	Значение
Напряжение питания сети, В	220
Частота, Гц	50/60
Номинальный сварочный ток, А, не менее	200
Пределы регулирования сварочного тока, А	20–200
Номинальное рабочее напряжение, В	28
Пределы регулирования напряжения, В	20–28
Напряжение холостого хода, В	60–70
КПД, %	93
Потребляемая мощность, кВт	5,2
Диаметр электрода, мм	1,6–5,0
Габаритные размеры, мм	435×160×270
Масса, кг	8,5

Недостатки инвертора сварочного Oliver MMA 200 IGBT:

- ограничение силы сварочного тока (200 А), не позволяющее сваривать металлы толщиной более 5–6 мм;
- необходимость применения дополнительной защиты при высокой влажности или запыленности окружающей среды;
- чувствительность к падению напряжения (менее 180 В) в сети, приводящему к сбоям в работе.

Инвертор сварочный Oliver MMA 200 IGBT предназначен для монтажа металлоконструкций (трубы, уголки, швеллеры и др.), ремонта автомобилей и сельскохозяйственной техники (кузовные работы, крепежные элементы) и т. п.

**Инвертор сварочный WSE-315 (TIG AC/DC)** (рис. 3.6) – профессиональное многофункциональное оборудование для аргонодуговой сварки (TIG) как на переменном (AC), так и на постоянном (DC) токе, а также для ручной дуговой сварки (MMA).



Рис. 3.6. Внешний вид инвертора сварочного WSE-315 (TIG AC/DC)

Основные технические характеристики инвертора сварочного WSE-315 (TIG AC/DC) представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Технические характеристики инвертора сварочного WSE-315 (TIG AC/DC)

Показатель	Значение
Напряжение питания сети, В	380
Частота, Гц	50/60
Номинальный сварочный ток, А, не менее	315
Пределы регулирования сварочного тока, А: – TIG DC/AC; – MMA	10–315/10–250 20–315

Показатель	Значение
Номинальное рабочее напряжение, В, не менее:	
– TIG;	22
– MMA	32
Пределы регулирования напряжения, В:	
– TIG;	10–22
– MMA	20–32
Напряжение холостого хода, В	62–72
КПД, %	85–90
Потребляемая мощность, кВт	12,1
Диаметр вольфрамового электрода (TIG), мм	1,0–6,0
Диаметр электрода (MMA), мм	до 6
Габаритные размеры, мм	700×360×780
Масса, кг	63

Преимущества инвертора сварочного WSE-315 (TIG AC/DC):

- универсальность оборудования за счет возможности получения сварных соединений из различных металлов и сплавов, реализуя различные режимы: MMA – углеродистых сталей и чугуна; TIG AC – алюминия и магниевых сплавов; TIG DC – коррозионностойких сталей, титана, меди и медных сплавов;

- обеспечение высокого качества шва за счет аргоновой защиты и точной настройки режимов сварки;

- возможность регулировки соотношения времени при сварке на переменном токе прямой и обратной полярности алюминия и алюминиевых сплавов;

- возможность использования дополнительных функций Hot Start, Anti-Stick, а также плавной регулировки силы тока;

- возможность сварки изделий толщиной до 15 мм при величине силы тока до 315 А;

- возможность осуществления процесса в импульсном режиме для сварки тонких материалов;

- наличие защиты от перегрузок, перегрева и скачков напряжения.

Недостатки инвертора сварочного WSE-315 (TIG AC/DC):

- требует привлечения квалифицированных специалистов с навыками работы с TIG-сваркой;

- высокая стоимость оборудования;

- необходимость в дополнительном оборудовании (баллон с аргоном, редуктор, горелка, осциллятор);
- требовательность к питанию (трехфазная сеть 380 В).

Инвертор сварочный WSE-315 (TIG AC/DC) предназначен для сварки деталей в авиа- и машиностроении (топливные баки, выхлопные системы и др.), при ремонтных работах (восстановление двигателей, радиаторов, дизайнерских металлоконструкций), а также для художественной сварки при изготовлении декоративных элементов.

**Инвертор сварочный ВА-350** (рис. 3.7) предназначен для дуговой сварки стальной сплошной и порошковой проволоками на постоянном токе в среде защитных газов (MIG/MAG).



Рис. 3.7. Внешний вид инвертора сварочного ВА-350

Основные технические характеристики инвертора сварочного ВА-350 представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Технические характеристики инвертора сварочного ВА-350

Показатель	Значение
Напряжение питания сети, В	380
Частота, Гц	50/60
Номинальный сварочный ток, А, не менее	360
Пределы регулирования сварочного тока, А	50–360
Номинальное рабочее напряжение, В, не менее	36
Пределы регулирования напряжения, В	14–36
Напряжение холостого хода, В	80
КПД, %	86
Потребляемая мощность, кВт	14,2

Показатель	Значение
Диаметр проволоки, мм	0,8–1,6
Скорость подачи проволоки, м/мин	1–20
Габаритные размеры, мм	443×790×685
Масса, кг	140

#### Преимущества инвертора сварочного ВА-350:

- высокая производительность по сравнению с ручной дуговой сваркой;
- высокое качество сварных швов с минимальным количеством дефектов за счет использования защитного газа и работы на постоянном токе;
- универсальность оборудования за счет возможности сварки различных материалов, включая углеродистую и коррозионностойкую сталь, а также алюминий, в зависимости от используемой проволоки и газа;
- простота управления процессом сварки за счет автоматической подачи проволоки, что упрощает управление сварочной дугой и делает его доступным для сварщиков различной квалификации;
- возможность регулировки параметров (скорости подачи проволоки и сварочного тока), что позволяет адаптировать процесс сварки под конкретные задачи и материалы;
- уменьшение разбрызгивания металла по сравнению с другими методами сварки, такими как ММА.

#### Недостатки инвертора сварочного ВА-350:

- высокая стоимость оборудования и расходных материалов по сравнению с ручной дуговой сваркой;
- чувствительность к условиям окружающей среды: ветер/сквозняки влияют на подачу защитного газа, что может привести к окислению сварочной ванны;
- особые требования к подготовке поверхности свариваемых изделий: очистка от ржавчины, краски и других загрязнений;
- ограниченная мобильность из-за больших габаритных размеров и массы, а также использования баллона с защитным газом;
- требовательность к питанию (трехфазная сеть 380 В).

Инвертор сварочный ВА-350 предназначен для мастерских, осуществляющих ремонт автотракторной и сельскохозяйственной

техники (кузовные работы, рамы и подвески, прицепы, навесное оборудование и т. д.).

**Инвертор сварочный Nebula 315/322** предназначен для получения сварных соединений ручной электродуговой сваркой плавящимся электродом и соединений аргонодуговой сваркой на постоянном токе неплавящимся электродом всех металлов и сплавов (исключая алюминий и его сплавы).



Рис. 3.8. Внешний вид инвертора сварочного Nebula 315/322

Основные технические характеристики инвертора сварочного Nebula 315/322 представлены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Технические характеристики инвертора сварочного Nebula 315/322

Показатель	Значение
Напряжение питания сети, В	380
Частота, Гц	50/60
Номинальный сварочный ток, А, не менее	315
Пределы регулирования сварочного тока, А	10–315
Номинальное рабочее напряжение, В, не менее	30
Пределы регулирования напряжения, В	15,5–30,0
Напряжение холостого хода, В	65
КПД, %	93
Потребляемая мощность, кВт:	
– MMA;	12,5
– TIG	8,3
Диаметр электрода, мм:	
– MMA;	2–4
– TIG	1,6–3,2
Габаритные размеры, мм	510×255×540
Масса, кг	25

Преимущества инвертора сварочного Nebula 315/322:

- высокий КПД и низкое энергопотребление за счет использования технологии IGBT;

- универсальность применения за счет поддержки режимов MMA и TIG;

- малые размеры и масса, обеспечивающие мобильность устройства;

- возможность использования дополнительных функций: Hot Start (горячий старт) облегчает поджиг дуги; Arc Force (форсирование дуги) предотвращает обрыв дуги при колебаниях расстояния между электродом и заготовкой.

Недостатки инвертора сварочного Nebula 315/322:

- высокая стоимость по сравнению с трансформаторами;

- чувствительность к условиям окружающей среды: наличие пыли, повышенная влажность, что требует более тщательного ухода и обслуживания;

- чувствительность к падению напряжения в сети, приводящему к сбоям в работе.

Инвертор сварочный Nebula 315/322 является универсальным надежным инструментом для профессиональных сварщиков и применяется для сварки металлоконструкций, трубопроводов и др. в строительстве, в производстве и ремонте машин и оборудования, в т. ч. автотракторной техники и сельскохозяйственных машин.

**Инвертор сварочный JASIC TIG 500 P AC/DC (J1210)** (рис. 3.9) предназначен для аргонодуговой сварки (TIG) переменным (AC) и постоянным (DC) током, а также для ручной дуговой сварки (MMA).



Рис. 3.9. Внешний вид инвертора сварочного JASIC TIG 500 P AC/DC (J1210)

Основные технические характеристики инвертора сварочного JASIC TIG 500 P AC/DC (J1210) представлены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Технические характеристики инвертора сварочного JASIC TIG 500 P AC/DC (J1210)

Показатель	Значение
Напряжение питания сети, В	380
Частота, Гц	50/60
Номинальный сварочный ток, А, не менее	500
Пределы регулирования сварочного тока, А:	
– MMA;	10–400
– TIG	10–500
Номинальное рабочее напряжение, В, не менее:	
– MMA;	36
– TIG	22
Пределы регулирования напряжения, В:	
– MMA;	20–36
– TIG	10–22
Напряжение холостого хода, В	66
КПД, %	85–90
Потребляемая мощность, кВт	20
Диаметр электрода, мм:	
– MMA;	1,6–4,0
– TIG	1,0–3,2
Габаритные размеры, мм	600×330×780
Масса, кг	66

Преимущества инвертора сварочного JASIC TIG 500 P AC/DC (J1210):

- универсальность применения за счет возможности сварки на переменном и постоянном токе, что позволяет сваривать широкую номенклатуру материалов, включая углеродистую и коррозионно-стойкую сталь, алюминиевые, медные и титановые сплавы;
- возможность сваривания металлов толщиной до 25 мм, а также сварки тонких материалов (0,5–2,0 мм) за счет использования импульсного режима (Pulse);
- высокое качество сварного шва за счет применения инверторной технологии, обеспечивающей стабильное управляемое горение сварочной дуги;
- низкое энергопотребление (на 30 %–40 % ниже, чем при использовании трансформаторов);
- возможность использования дополнительных функций: Hot Start, Anti-Stick и Arc Force.



Недостатки инвертора сварочного JASIC TIG 500 P AC/DC (J1210):

- высокая стоимость оборудования по сравнению с обычными сварочными аппаратами;
- сложность настройки режимов (TIG), что требует высокой квалификации и наличия опыта работы сварщика;
- чувствительность к условиям окружающей среды: наличие пыли, повышенная влажность, что требует более тщательного ухода и обслуживания;
- чувствительность к падению напряжения в сети, приводящему к сбоям в работе.

Инвертор сварочный JASIC TIG 500 P AC/DC (J1210) применяется для сварки корпусов, толстостенных конструкций в судостроении, монтаже трубопроводов и резервуаров в нефтегазовой промышленности, для изготовления турбин и теплообменников в энергетике, а также для сварки различных материалов при ремонте и обслуживании автотракторной техники.

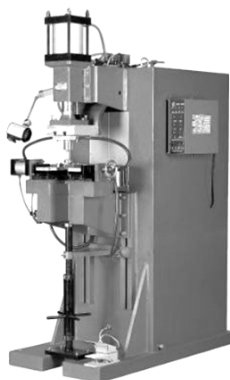
**Машина для точечной сварки с вертикальным ходом DTN-35 KVA** (рис. 3.10) предназначена для контактной точечной и рельефной сварки и оснащена горизонтальными пневматическими прижимами.

Преимущества машины для точечной сварки с вертикальным ходом DTN-35 KVA:

- высокая скорость сварки (время пропускания импульса – до 1 с);
- низкое энергопотребление по сравнению с дуговыми методами;
- отсутствие необходимости в использовании присадочных материалов, флюса и защитных газов;
- минимальные деформации свариваемых материалов за счет быстрого локального нагрева места сварки;
- возможность объединения оборудования в автоматизированные производственные линии;
- получение надежных высокопрочных точечных соединений.

Недостатки машины для точечной сварки с вертикальным ходом DTN-35 KVA:

- ограниченная толщина свариваемых листовых материалов: для низкоуглеродистых сталей общая толщина не должна превышать 6 мм, для коррозионностойких сталей – 5 мм, для алюминиевых сплавов – 4 мм;
- ограничение возможности сварки деталей сложной формы;
- необходимость в регулярной заточке или замене медных электродов.



*Рис. 3.10.* Внешний вид машины для точечной сварки с вертикальным ходом DTN-35 KVA

Основные технические характеристики машины для точечной сварки с вертикальным ходом DTN-35 KVA представлены в табл. 3.8.

*Таблица 3.8*

Технические характеристики машины для точечной сварки с вертикальным ходом DTN-35 KVA

Показатель	Значение
Напряжение питания сети, В	4380
Частота, Гц	50/60
Номинальный сварочный ток, кА, не менее	35
КПД, %	85–90
Потребляемая мощность, кВт	35
Толщина свариваемых изделий, мм	до 6
Габаритные размеры, мм	1030×400×1760
Масса, кг	260

Машина для точечной сварки с вертикальным ходом DTN-35 KVA используется в машиностроении для сварки кузовных деталей и других узлов, для соединения листовых материалов в строительстве, при производстве бытовой техники (холодильники, стиральные машины и др.), для сварки тонких металлических материалов в электронных устройствах, для сварки легких металлических конструкций в аэрокосмической промышленности.

#### **4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СВАРОЧНЫХ РАБОТ**

Требования безопасности при выполнении электросварочных работ (при ручной, механизированной дуговой сварке под флюсом, в защитных газах) регламентированы ГОСТ 12.3.003–86. Указанные способы сварки требуют строгого соблюдения определенного комплекса правил техники безопасности и охраны труда. Подключением, отключением и ремонтом сварочного оборудования занимается только электрик. Сварщикам запрещается производить эти работы.

Для всех способов сварки плавлением в той или иной степени существует возможность опасных воздействий на сварщика в связи со следующими факторами:

- поражение электрическим током при прикосновении человека к токоведущим частям электрической цепи;
- поражение лучами электрической дуги глаз и открытой поверхности кожи;
- ожоги от капель металла и шлака при сварке;
- отравление вредными газами, выделяющимися при сварке и при загрязнении помещений пылью и испарениями различных веществ;
- взрывы из-за неправильного обращения с баллонами сжатого газа, производства сварки в емкостях из-под горючих веществ либо выполнения сварки вблизи легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ;
- травмы различного рода механического характера при подготовке тяжелых изделий к сварке и в процессе сварки.

**Предотвращение опасности поражения электрическим током.** Воздействие электрического тока на организм человека может вызвать целый ряд опасных последствий, включая ожоги, судороги, нарушения работы сердца и дыхания, а также повреждения нервной системы и другие травмы. Ток более 50 мА может вызвать наступление смерти; при напряжении меньше 500 В переменный ток опаснее постоянного.

При сварке плавлением используют источники тока с напряжением холостого хода 45–80 В. Поэтому источники питания должны иметь автоматические устройства, отключающие их в течение не более 0,5 с при обрыве дуги.

Учитывая непостоянную величину электрического сопротивления человеческого тела (так, при сухой коже, например, сопротив-

ление составляет 8000–20 000 Ом, а при влажных руках или повреждениях кожи снижается до 400–1000 Ом), безопасным считают напряжение не выше 12 В.

С целью уменьшения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие мероприятия:

- надежная изоляция всех проводов, связанных с питанием источника тока и сварочной дуги, и герметизация включающих устройств;
- заземление корпусов сварочных аппаратов;
- обязательное заземление корпусов источников питания, аппаратного ящика, вспомогательного электрического оборудования (сечение заземляющих проводов должно составлять не менее 25 мм<sup>2</sup>);
- применение в источниках питания автоматических выключателей высокого напряжения, которые в момент холостого хода разрывают сварочную цепь и подают на держатель напряжение 12 В;
- применение электрододержателя с хорошей изоляцией, которая гарантирует отсутствие случайного контакта токоведущих частей электрододержателя со свариваемым изделием и руками сварщика. Кроме того, электрододержатель должен обладать высокой механической прочностью и обеспечивать не менее 8000 зажимов электродов;
- использование при работе сухой спецодежды, резиновых ковров и источников освещения с напряжением не выше 12 В.

### **Предотвращение опасности поражения лучами сварочной дуги.**

Сварочная дуга является источником световых лучей, яркость которых в 10 000 раз превышает физиологическую переносимую нагрузку и может вызвать поражение глаз и ожог незащищенных участков тела при действии лучей в течение всего 10–15 с. Ультрафиолетовое излучение обладает наибольшей энергией излучения, воздействует на роговицу и хрусталик, вызывая заболевание – электроофтальмию. Длительное воздействие инфракрасного излучения может вызвать помутнение хрусталика глаза (необратимый процесс) и болезнь – катаракту. Высокий уровень тепловой радиации может стать причиной перегрева организма.

С целью уменьшения опасности поражения лучами сварочной дуги необходимо соблюдать следующие мероприятия:

- обязательное использование щитков и масок с защитными светофильтрами согласно ГОСТ 12.4.035–78;
- окрашивание кабины в светлые тона (серый матовый) с целью ослабления резкого контраста между дугой и стенами;

- использование брезентового занавеса на входе в кабину для защиты зрения окружающих;
- использование спецодежды для предотвращения воздействия тепловой радиации при горении сварочной дуги.

**Предотвращение опасности поражения брызгами расплавленного металла и шлака.** Образующиеся при дуговой сварке брызги расплавленного металла имеют температуру до 1800 °С и могут вызвать ожоги кожи и глаз, а мелкие из них – попасть в дыхательные пути.

С целью предотвращения опасности поражения брызгами расплавленного металла и шлака необходимо соблюдать следующие мероприятия:

- использование спецодежды из брезентовой или специальной ткани, причем куртка при работе не должна быть заправлена в брюки, а обувь должна иметь гладкий верх;
- соблюдение техники сварки (правильный выбор угла наклона электрода и его расстояния от изделия) для минимизации брызг;
- обеспечение чистоты свариваемой поверхности во избежание дополнительных химических реакций, вызывающих появление брызг.

**Предотвращение отравления вредными газами и аэрозолями.** Высокая температура дуги (6000 °С–8000 °С) неизбежно приводит к тому, что происходит испарение компонентов проволоки, покрытий, флюсов и выделение вредных газов (оксидов углерода и азота, фтористых соединений, озона и др.). Смесь паров с газами образует аэрозоль, частицы которого легко попадают в дыхательную систему. Аэрозоли представляют главную профессиональную опасность для сварщиков. Наиболее опасны для здоровья сварщиков аэрозоли марганца, т. к. отравление марганцем может вызвать стойкое длительное поражение центральной нервной системы вплоть до паралича. Острые отравления парами цинка и свинца могут вызвать литейную лихорадку, а отравление хромовым ангидридом – бронхиальную астму. Длительное отложение пыли в легких может вызвать пневмокониоз.

С целью предотвращения отравления вредными газами и аэрозолями необходимо соблюдать следующие мероприятия:

- обеспечение эффективной вентиляции непосредственно рабочего места или использование системы принудительного вытяжного воздуха;
- применение местных отсосов (зонты или рукава) для удаления газов непосредственно из зоны сварки;

- использование респираторов или масок с фильтрами, соответствующими типу выделяемых веществ;
- выбор материалов с низким содержанием токсичных добавок и соблюдение рекомендаций по их использованию.

**Предотвращение опасности взрывов.** Опасность взрывов возникает при неправильной транспортировке, хранении и использовании баллонов со сжатыми газами, при проведении сварочных работ в различных емкостях без предварительного контроля степени их очистки и наличия в них остатков горючих веществ и т. д.

С целью предотвращения опасности взрывов необходимо соблюдать следующие мероприятия:

- проверка рабочей зоны на наличие взрывоопасных газов или паров с помощью специальных детекторов;
- удаление всех взрывоопасных веществ (газовые баллоны, легко воспламеняющиеся жидкости) из зоны сварки;
- обеспечение принудительной вентиляции для предотвращения скопления газов;
- использование заземления оборудования, чтобы избежать искрообразования.

**Предотвращение травм, связанных со сборочными и транспортными операциями (травмы механического характера).** Основными видами травматизма при сборке и транспортировке являются ушибы и ссадины от контакта с оборудованием или заготовками, переломы или вывихи при падении тяжелых деталей или аппаратов, раны от острых краев металла или инструментов, травмы спины или мышц при подъеме и переноске грузов, удары от случайно упавших предметов.

С целью предотвращения травм механического характера необходимо соблюдать следующие мероприятия:

- применение транспортных средств и такелажных приспособлений при перемещении тяжелых деталей и изделий;
- использование исправного инструмента (кувалды, молотки, гаечные ключи, зубила и т. п.) при сборке конструкций для сварки;
- применение защитных очков при очистке швов от шлака.

## **5. ПЛАН ПРОХОЖДЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ПРАКТИКИ. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА**

Программой ознакомительной инженерной практики предусмотрено проведение пяти практических занятий в учебной сварочной мастерской объемом 18 ч согласно следующему плану:

### **Занятие 1. Основы электродуговой сварки и техника безопасности (2 ч)**

*Цель:* ознакомление с основами сварки, оборудованием и правилами техники безопасности при проведении сварочных работ.

#### ***Теоретическая часть (1 ч):***

- введение (принципы электродуговой сварки на постоянном токе; типы электродов и их характеристики; сварочное оборудование и инструменты мастерской);
- техника безопасности (правила работы со сварочным оборудованием, использование средств индивидуальной защиты: маска, перчатки, спецодежда; пожарная безопасность и действия в чрезвычайных ситуациях).

#### ***Практическая часть (1 ч):***

- настройка сварочного аппарата: выбор силы тока для заданного диаметра электрода;
- возбуждение электрической дуги на пробной заготовке без формирования шва;
- обработка движений электрода (прямолинейное ведение).

### **Занятие 2. Выполнение нахлесточных соединений (4 ч)**

*Цель:* освоение техники выполнения нахлесточных соединений в нижнем положении.

#### ***Теоретическая часть (30 мин):***

- объяснение техники выполнения нахлесточных соединений;
- демонстрация правильного угла наклона электрода ( $60^{\circ}$ – $70^{\circ}$ ) и скорости его ведения;
- особенности подготовки: зачистка поверхностей, правильное наложение заготовок с нахлестом, равным 10–20 мм.

#### ***Практическая часть (3,5 ч):***

- подготовка заготовок: зачистка поверхности, установка листов внахлестку;
- выполнение нахлесточных соединений на плоских заготовках (толщина 3–5 мм);

- контроль качества шва: равномерность, отсутствие пор, наплывов и подрезов;
- разбор и корректировка ошибок под руководством учебного мастера;
- очистка швов и рабочего места.

### **Занятие 3. Выполнение стыковых соединений (4 ч)**

*Цель:* отработка техники выполнения стыковых соединений в нижнем положении.

#### ***Теоретическая часть (30 мин):***

- объяснение особенностей техники выполнения стыковых соединений;
- демонстрация техники: равномерное заполнение зазора, контроль глубины проплавления.

#### ***Практическая часть (3,5 ч):***

- подготовка заготовок: зачистка кромок, установка заготовок с зазором 1–2 мм;
- выполнение однослойных стыковых соединений;
- отработка техники ведения электрода (круговые или зигзагообразные движения);
- контроль качества швов: визуальный осмотр, проверка на отсутствие трещин;
- анализ выполненных швов, разбор ошибок.

### **Занятие 4. Выполнение угловых и тавровых соединений (4 ч)**

*Цель:* освоение техники выполнения угловых и тавровых соединений.

#### ***Теоретическая часть (30 мин):***

- объяснение особенностей выполнения угловых и тавровых соединений;
- демонстрация техники: угол наклона электрода, контроль катета шва.

#### ***Практическая часть (3,5 ч):***

- подготовка заготовок: установка в тавровое или угловое соединение;
- выполнение швов в нижнем положении;
- отработка равномерного формирования катета шва;
- контроль качества: проверка равномерности и прочности шва;
- анализ швов, обсуждение типичных дефектов (подрезы, неравномерный катет).



## **Занятие 5. Комплексная практика и контроль качества (4 ч)**

*Цель:* закрепление навыков и выполнение контрольного задания.

### ***Теоретическая часть (30 мин):***

– повторение техники выполнения всех типов соединений (нахлесточные, стыковые, тавровые, угловые);

– объяснение требований к контрольному заданию: сварка образца с комбинацией соединений.

### ***Практическая часть (3,5 ч):***

– самостоятельное выполнение контрольного задания с минимальным вмешательством учебного мастера: сварка конструкции с нахлесточным, стыковым и угловым (тавровым) соединениями;

– контроль качества: визуальный осмотр, измерение параметров швов (катет, глубина проплавления);

– разбор выполнения контрольных заданий, оценка качества швов.

Общая оценка по практике складывается из оценки, выставленной учебным мастером на основе качества выполненного контрольного задания, и оценки по защите отчета, выставляемой преподавателем.

В отчете о практике должно быть отражено следующее:

1. Определение термина «сварка».
2. Виды сварных соединений (привести схемы). Классификация сварных швов (привести схемы).
3. Определение термина «электродуговая сварка». Основные преимущества по сравнению с другими видами сварки.
4. Сварка дугой прямой и обратной полярности.
5. Источники питания сварочной дуги. Сварка на постоянном и переменном токе.
6. Основные режимы ручной электродуговой сварки.
7. Классификация электродов для ручной электродуговой сварки.
8. Техника безопасности при ручной электродуговой сварке.
9. Определение термина «сварка в среде защитных газов». Используемые защитные газы. Преимущества и недостатки аргонодуговой сварки и сварки в среде углекислого газа.
10. Определение терминов «контактная сварка» и «точечная сварка».
11. Оборудование сварочной мастерской и его назначение.
12. Описание процесса выполнения контрольного задания: используемое оборудование, инструмент и приспособления; выбор режимов сварки; полученные сварные соединения и их типы (привести схемы, фотографии).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капцевич, В. М. Горячая обработка металлов : учебно-методический комплекс / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, В. Р. Калининский. – Минск : БГАТУ, 2012. – 444 с.
2. Капцевич, В. М. Горячая обработка металлов. Лабораторный практикум : учебное пособие / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, П. С. Чугаев. – Минск : БГАТУ, 2020. – 160 с.
3. Виноградов, В. С. Электрическая дуговая сварка : учебник / В. С. Виноградов. – 8-е изд., стер. – М. : Академия, 2015. – 320 с.
4. Овчинников, В. В. Технология ручной дуговой и плазменной сварки и резки металлов : учебник / В. В. Овчинников. – 5-е изд., стер. – М. : Академия, 2016. – 240 с.
5. Лупачев, В. Г. Ручная дуговая сварка : учебник / В. Г. Лупачев. – 3-е изд. – Минск : Вышэйшая школа, 2010. – 416 с.

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

Учебное издание

**Капцевич** Вячеслав Михайлович,  
**Корнеева** Валерия Константиновна

**ПРАКТИКА ОЗНАКОМИТЕЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ.  
СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *В. М. Капцевич*  
Редактор *Д. А. Значёнок*  
Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*  
Дизайн обложки *Д. О. Михеевой*

Подписано в печать 24.12.2025. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 3,45. Тираж 99 экз. Заказ 616.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.