

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

**В.И. Васильев, Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов**

## **ВВЕДЕНИЕ В ОСНОВЫ СВАРКИ**

*Рекомендовано УМО РАЕ по классическому университетскому  
и техническому образованию в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по специальности 150700 «Машиностроение»*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2011

УДК 621.791(075)

ББК 34.641я73

В19

**Васильев В.И.**

В19 Введение в основы сварки: учебное пособие / В.И. Васильев, Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 317 с.

ISBN 978-5-98298-817-1

В пособии рассмотрены теоретические основы сварки, сущность процессов, оборудование, сварочные материалы для ручной дуговой сварки, автоматической сварки под флюсом и механизированной сварки. Описана технология сварки различных сталей и сплавов, цветных металлов и чугунов. Показаны различные виды дефектов и способы их устранения. Описаны особенности интегрированной системы обучения ЮТИ ТПУ.

Предназначено для студентов высших технических учебных заведений машиностроительных специальностей и слушателей курсов повышения квалификации по технологии сварочного производства.

**УДК 621.791(075)**

**ББК 34.641я73**

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор ЮТИ ТПУ

*С.Б. Сапожков*

Кандидат технических наук

директор «Аттестационного регионального центра  
специалистов неразрушающего контроля»

*М.М. Коротков*

**ISBN 978-5-98298-817-1**

© ГОУ ВПО НИ ТПУ Юргинский  
технологический институт (филиал), 2011

© Васильев В.И., Ильященко Д.П.,  
Павлов Н.В., 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	7
<b>Часть 1</b> .....	10
Глава 1. Виды и способы сварки и сварные соединения .....	10
1.1. Понятие о сварке и ее сущности .....	10
1.2. Классификация видов сварки .....	19
1.3. Основные разновидности дуговой сварки .....	21
1.4. Сварные соединения и швы .....	25
1.5. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений .....	30
Глава 2. Электрическая дуга и ее применение для сварки .....	34
2.1. Природа сварочной дуги .....	34
2.2. Особенности дуги на переменном токе .....	38
2.3. Технологические свойства дуги .....	40
Глава 3. Тепловые процессы при дуговой сварке .....	43
3.1. Сварочная дуга как источник нагрева .....	43
3.2. Плавление металла электрода и его перенос в дуге при сварке .....	45
3.3. Производительность процесса дуговой сварки .....	46
Глава 4. Нагрев свариваемого металла .....	49
4.1. Общие сведения о нагреве металла при сварке .....	49
4.2. Формирование сварочной ванны .....	50
4.3. Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму .....	53
и размеры сварочной ванны .....	53
Глава 5. Основы металлургических процессов при сварке .....	55
5.1. Общие сведения и особенности сварочной металлургии .....	55
5.2. Основные процессы, протекающие при дуговой сварке .....	56
5.3. Кристаллизация сварочной ванны .....	61
5.4. Образование трещин и газовых пор в металле шва .....	64
5.5. Структура сварного соединения .....	66
Глава 6. Напряжения и деформации при сварке .....	69
6.1. Понятия о напряжениях и деформациях .....	69
6.2. Причины возникновения напряжений и деформаций при сварке .....	70
6.3. Меры борьбы с деформациями .....	73
Глава 7. Определение свариваемости .....	75
7.1. Определение свариваемости и ее виды .....	75
<b>Часть 2</b> .....	79
Глава 8. Сварочные материалы .....	79
8.1. Присадочные материалы для сварки .....	79
8.2. Электроды для дуговой сварки .....	83
8.3. Сварочные флюсы .....	87

8.4. Защитные газы .....	89
Глава 9. Источники питания для дуговой сварки.....	92
9.1. Характеристики источников питания дуги и требования к ним.....	92
9.2. Сварочные трансформаторы.....	97
9.3. Сварочные выпрямители.....	103
9.4. Сварочные коллекторные генераторы и преобразователи .....	110
9.5. Вспомогательные устройства для источников питания .....	115
9.6. Многопостовые источники питания дуги .....	116
9.7. Источник питания как энерго и ресурсосберегающий фактор в сварочном производстве .....	117
Глава 10. Оборудование для дуговой автоматической сварки .....	125
10.1. Общие сведения и классификация автоматов для дуговой сварки .....	125
10.2. Комплектование и основные узлы сварочных автоматов .....	127
10.3. Газовая аппаратура, применяемая в автоматах для сварки в защитных газах.....	129
10.4. Классификация механизмов импульсной подачи электродной проволоки при сварке плавящимся электродом в углекислом газе .....	134
10.4.1. Механизмы с подвижным захватом.....	136
10.4.2. Механизмы с непостоянным взаимодействием.....	143
10.4.3. Механизмы отклоняющего типа .....	146
Глава 11. Оборудование для механизированной дуговой сварки .....	150
11.1. Общие сведения и классификация сварочных полуавтоматов .....	150
11.2. Устройство и основные узлы полуавтоматов .....	150
Глава 12. Технология ручной дуговой сварки .....	154
12.1. Сущность способа и оборудование.....	154
12.2. Подготовка деталей под сварку.....	156
12.3. Режимы ручной дуговой сварки покрытыми электродами.....	157
12.4. Технология выполнения ручной дуговой сварки.....	158
Глава 13. Технология автоматической дуговой сварки .....	165
под флюсом.....	165
13.1. Особенности процесса сварки под флюсом.....	165
13.2. Подготовка деталей под сварку.....	166
13.3. Режимы сварки под флюсом.....	168
13.4. Сварка под флюсом стыковых и угловых швов .....	172
13.5. Сварка под флюсом кольцевых швов .....	175
Глава 14. Технология автоматической дуговой сварки .....	177
в защитных газах.....	177
14.1. Особенности сварки в защитных газах.....	177

14.2. Классификация методов снижения разбрызгивания при сварке в углекислом газе .....	179
14.3. Подготовка деталей и режимы сварки в защитных газах.....	187
14.4. Сварка неплавящимся электродом.....	189
14.5. Разновидности аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом.....	192
14.6. Сварка в защитных газах плавящимся электродом.....	194
14.7. Сварка с импульсной подачей электродной проволоки .....	197
в смеси защитных газов.....	197
Глава 15. Технология дуговой механизированной сварки .....	204
15.1. Общие сведения о технологии механизированной дуговой сварки плавящимся электродом .....	204
15.2. Механизированная сварка порошковой проволокой .....	207
15.3. Механизированная сварка открытой дугой самозащитной проволокой .....	209
<b>Часть 3</b> .....	212
Глава 16. Технология сварки сталей и чугуна .....	212
16.1. Общие свойства и классификация сталей.....	212
16.2. Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей .....	215
16.3. Сварка легированных и закаливающихся сталей .....	217
16.4. Сварка высоколегированных сталей и сплавов.....	220
16.5. Сварка чугуна.....	225
Глава 17. Сварка цветных металлов и сплавов.....	229
17.1. Общие сведения .....	229
17.2. Сварка легких и цветных металлов и сплавов.....	230
17.3. Сварка титана и его сплавов .....	239
17.4. Сварка меди и ее сплавов.....	242
Глава 18. Дефекты и контроль качества.....	248
сварных соединений .....	248
18.1. Общие сведения и организация контроля.....	248
18.2. Дефекты сварных соединений и причины их возникновения .....	250
18.3. Методы неразрушающего контроля сварных соединений.....	253
18.4. Методы контроля с разрушением сварных соединений.....	259
Глава 19. Сварка при низких температурах .....	262
19.1. Влияние низких температур на качество сварных соединений....	262
19.2. Сварка под водой .....	266
Глава 20. Технологическая подготовка, механизация и автоматизация сварочного производства .....	269
20.1. Технологичность сварных конструкций и ее отработка .....	269
20.2. Разработка технологических процессов.....	274
20.3. Технологическое оснащение производства .....	277

20.4. Механизация и автоматизация сварочного производства .....	282
Глава 21. Организация рабочих мест для дуговой сварки .....	291
21.1. Общие сведения о сварочных постах .....	291
21.2. Сварочное оборудование .....	293
21.3. Инструменты и принадлежности сварщика.....	297
Глава 22. Охрана труда, противопожарная безопасность и экологическая защита.....	299
22.1. Охрана труда и техника безопасности.....	299
22.2. Противопожарная безопасность.....	303
22.3. Охрана окружающей среды .....	304
<b>Часть 4</b> .....	306
Глава 23. Инженерно-производственная подготовка .....	306
студентов кафедры Сварочного производства ЮТИ ТПУ .....	306
23.1. Общие положения.....	306
23.2. Цель и основные задачи производственной практики.....	307
23.3. Обязанности студентов при прохождении..... производственной практики .....	308
23.4. Виды производственной практики.....	308
23.5. Содержание отчета по практике.....	309
23.6. Руководство производственной практикой .....	309
Список литературы .....	315

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Знание закономерностей процессов, протекающих при сварке плавлением, и умение ими управлять – основа рациональной технологии сварки. Закономерности сварки плавлением излагаются в тесной связи со спецификой отдельных ее видов (дуговой – в различных вариантах, электрошлаковой и др.). Наибольшее внимание уделено дуговой сварке, занимающей ведущее положение по сравнению с другими видами сварки. Применение сварки способствует совершенствованию машиностроения и развитию таких отраслей техники, как ракетостроение, атомная энергетика, радиоэлектроника и др.

О возможности использования «электрических искр» для плавления металлов еще в 1753 г. говорил академик Российской академии наук Г.В. Рихман, занимавшийся исследованием атмосферного электричества. В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской военно-хирургической академии В.В. Петров открыл явление электрической дуги и продемонстрировал возможность ее практического применения. Однако потребовались многие годы совместных усилий ученых и инженеров, направленных на создание источников энергии, необходимых для реализации процесса электрической сварки металлов. Важную роль в этих разработках сыграли открытия и изобретения в области магнетизма и электричества.

В 1882 г. российский ученый-инженер Н.Н. Бенардос, работая над созданием аккумуляторных батарей, открыл способ электродуговой сварки металлов неплавящимся угольным электродом. Им был разработан способ дуговой сварки в защитном газе и дуговая резка металлов.

В 1888 г. российский инженер Н.Г. Славянов предложил проводить сварку плавящимся металлическим электродом. С его именем связано развитие металлургических основ электрической дуговой сварки, разработка флюсов, предназначенных для воздействия на состав металла шва, создание первого электрического генератора. Затем, в 1907 г., шведский инженер О. Кьельберг разработал электроды из металлического стержня с нанесенным на него специальным покрытием, обеспечившие значительное повышение качества сварных соединений.

В середине 1920-х гг. исследования процессов сварки были начаты во Владивостоке (В.П. Вологдин, Н.Н. Рыкалин, Г.К. Татур, С.А. Данилов), Москве (Г.А. Николаев, К.К. Хренов, К.В. Любавский), Ленинграде (В.П. Никитин, А.А. Алексеев, Н.О. Окерблом) и Киеве, где Е.О. Патон организовал в 1929 г. лабораторию, а затем Институт электросварки (ИЭС).

В 1924–1935 гг. в основном применяли ручную сварку электродами с тонкими ионизирующими (меловыми) покрытиями. В эти годы под руководством В.П. Волошина с использованием сварки были изготовлены первые отечественные котлы и корпуса нескольких судов. В 1935–1939 гг. начали применять покрытые электроды со стержнем из легированной стали, что обеспечило широкое распространение сварки в промышленности и строительстве. В 1940-е гг. была разработана сварка под флюсом, которая позволила повысить производительность процесса и качество сварных соединений, а также механизировать производство сварных конструкций. В начале 1950-х гг. в ИЭС им. Е.О. Патона создают процесс электрошлаковой сварки для изготовления крупногабаритных деталей из литых и кованных заготовок.

Начиная с 1948 г. в промышленности применяются такие способы дуговой сварки в защитных газах, как ручная сварка неплавящимся электродом, механизированная и автоматическая сварка неплавящимся и плавящимся электродами. В 1950–1952 гг. в ЦНИИТМаше при участии МВТУ им. Н.Э. Баумана и ИЭС им. Е.О. Патона был разработан высокопроизводительный процесс сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей в среде углекислого газа, обеспечивающий высокое качество сварных соединений.

Создание учеными новых централизованных источников энергии – электронного и лазерного луча – обусловило появление принципиально новых способов сварки плавлением, получивших название электронно-лучевой и лазерной сварки, которые успешно применяются в промышленности. С развитием обитаемых космических станций сварка потребовалась в космосе. Наши космонавты В.Н. Кубасов и Г.С. Шонин в 1969 г. и С.Е. Савицкая и В.А. Джанибеков в 1984 г. провели в космосе сварку, резку и пайку различных металлов.

Одно из наиболее динамично развивающихся направлений в сварочном производстве – широкое использование механизированной и автоматической сварки. Речь идет о механизации и автоматизации как самих сварочных процессов (т.е. о переходе от ручного труда сварщика к механизированному), так и о комплексной механизации и автоматизации, охватывающих все виды работ, связанных с изготовлением сварных конструкций (заготовительные и сборочные и др.) и созданием поточных и автоматических производственных линий.

С развитием техники возникает необходимость в сварке деталей неодинаковой толщины из разных материалов. В связи с этим постоянно расширяется перечень применяемых видов и способов сварки. В настоящее время сваривают детали толщиной от нескольких микрометров (в микроэлектронике) до десятков миллиметров и даже метров (в тяже-



лом машиностроении). Наряду с конструкционными углеродистыми и низколегированными сталями все чаще необходимо сваривать специальные стали, легкие сплавы, сплавы на основе титана и других металлов, а также разнородные металлы и сплавы.

В условиях непрерывного усложнения конструкций и роста объема сварочных работ важное значение имеет постоянное повышение уровня подготовки – теоретической и практической – квалифицированных специалистов.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по интегрированной форме и получающих навыки сварки на первых курсах. Учебный материал базируется на сведениях по химии, физике, технологии материалов и конструкционных материалов, электротехнике и др.

Учебное пособие состоит из четырех разделов, в которых рассмотрены общие сведения о сварке, основы теории сварки плавлением, технология ручной дуговой и механизированной сварки, сварка сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов. Завершает учебник список использованной и рекомендуемой для самостоятельного изучения дополнительной литературы.

# ЧАСТЬ 1

## ГЛАВА 1. ВИДЫ И СПОСОБЫ СВАРКИ И СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

### 1.1. ПОНЯТИЕ О СВАРКЕ И ЕЕ СУЩНОСТИ

Сложные конструкции, как правило, получают в результате объединения между собой отдельных элементов (деталей, агрегатов, узлов). Такие объединения могут выполняться с помощью разъемных или неразъемных соединений.

В соответствии с ГОСТ 2601-74 сварка определяется как процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого. Неразъемные соединения, выполненные с помощью сварки, называют сварными соединениями. Чаще всего с помощью сварки соединяют детали из металлов. Однако сварные соединения применяют и для деталей из неметаллов – пластмасс, керамик или их сочетаний.

Для получения сварных соединений не требуется применения каких-либо специальных соединительных элементов (заклепок, накладок и т.п.). Образование неразъемного соединения в них обеспечивается за счет проявления действия внутренних сил системы. При этом происходит образование связей между атомами металла соединяемых деталей. Для сварных соединений характерно возникновение металлической связи, обусловленной взаимодействием ионов и обобществленных электронов.

Для получения сварного соединения недостаточно простого соприкосновения поверхностей соединяемых деталей. Межатомные связи могут установиться только тогда, когда соединяемые атомы получают некоторую дополнительную энергию, необходимую для преодоления существующего между ними определенного энергетического барьера. При этом атомы достигают состояния равновесия в действии сил напряжения и отталкивания. Эту энергию называют энергией активации. При сварке ее вводят извне путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация).

Сближение свариваемых частей и приложение энергии активации – необходимые условия для образования неразъемных сварных соединений.

В зависимости от вида активации при выполнении соединений различают два вида сварки – плавлением и давлением. При сварке плавлением детали по соединяемым кромкам оплавливают под действием источ-

ника нагрева. Оплавленные поверхности кромок с дополнительным присадочным металлом (при необходимости), образуют жидкую сварочную ванну. При охлаждении сварочной ванны жидкий металл затвердевает и образует сварной шов.

Сущность сварки давлением состоит в непрерывном или прерывистом совместном пластическом деформировании материала по кромкам свариваемых деталей. Благодаря пластической деформации и течению металла облегчается установление межатомных связей соединяемых частей. Для ускорения процесса применяют сварку давлением с нагревом. В некоторых способах сварки давлением нагрев может производиться до оплавления металла свариваемых поверхностей.

Все термины и основные понятия, связанные с производством сварных конструкций, согласно ГОСТ 2601-84 приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

*Термины и определения основных понятий сварки металлов  
по ГОСТ2601-84*

Термин	Определение
1	2
<b>Сварка</b>	Процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.
<b>Виды сварки</b>	
<b>Ручная сварка</b>	Выполняемая человеком с помощью инструмента, получающего энергию от специального источника
<b>Механизированная сварка</b>	Выполняемая с применением машин и механизмов, управляемых человеком
<b>Автоматическая сварка</b>	Выполняемая машиной, действующей по заданной программе, без непосредственного участия человека
<b>Сварка плавлением</b>	Осуществляемая местным сплавлением соединяемых частей без приложения давления
<b>Наплавка</b>	Нанесение посредством сварки плавлением слоя металла на поверхность изделия
<b>Виды дуговой сварки</b>	
<b>Дуговая сварка</b>	Плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой
<b>Дуговая сварка плавящимся электродом</b>	Выполняемая электродом, который, расплавляясь при сварке, служит присадочным металлом

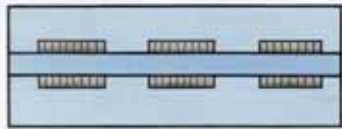
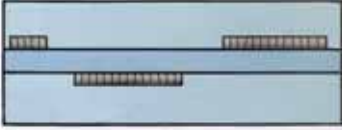
Продолжение табл. 1.1

1	2
<b>Дуговая сварка неплавящимся электродом</b>	Выполняемая нерасплавляющимся при сварке электродом
<b>Дуговая сварка под флюсом</b>	При которой дуга горит под слоем сварочного флюса
<b>Дуговая сварка в защитном газе</b>	При которой дуга и расплавляемый металл, а в некоторых случаях, и остывающий шов, находятся в защитном газе, подаваемой в зону сварки с помощью специальных устройств
<b>Аргонодуговая сварка</b>	При которой в качестве защитного газа используется аргон
<b>Дуговая сварка в углекислом газе</b>	При которой в качестве защитного газа используется углекислый газ
<b>Импульсно-дуговая сварка</b>	При которой дугу дополнительно питают импульсами тока по заданной программе
<b>Ручная дуговая сварка</b>	При которой возбуждаемая дуга, подача электрода и его перемещение проводятся вручную
<b>Механизованная дуговая сварка</b>	При которой подача плавящегося электрода или присадочного металла, или относительное перемещение дуги и изделия выполняются с помощью механизмов
<b>Автоматическая дуговая сварка</b>	Механизованная, при которой возбуждение дуги, подача плавящегося электрода или присадочного металла и относительное перемещение дуги и изделия осуществляется механизмами без непосредственного участия человека, в том числе и по заданной программе
<b>Двухдуговая сварка</b>	При которой нагрев осуществляется одновременно двумя дугами с отдельным питанием их током
<b>Многодуговая сварка</b>	При которой нагрев осуществляется одновременно двумя электродами с общим подводом сварочного тока
<b>Многозлектродная сварка</b>	При которой нагрев осуществляется одновременно более чем двумя электродами с общим подводом сварочного тока
<b>Дуговая сварка по флюсу</b>	При которой на свариваемые кромки наносится слой флюса, толщина которого меньше дугового промежутка
<b>Точечная дуговая сварка</b>	Без перемещения электрода в плоскости, перпендикулярной его оси, в виде отдельных точек

Продолжение табл. 1.1

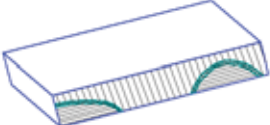
1	2
<b>Вибродуговая сварка</b>	Плавающимся электродом, который вибрирует, вследствие чего дуговые разряды чередуются с короткими замыканиями
<b>Сварка лежачим электродом</b>	При которой неподвижный покрытый электрод укладывается вдоль свариваемых кромок, а дуга перемещается по мере расплавления электрода
<b>Сварка наклонным электродом</b>	При которой покрытый электрод располагается наклонно вдоль свариваемых кромок, опираясь на них, и по мере расплавления движется под действием силы тяжести или пружины, а дуга перемещается вдоль шва
<b>Плазменная сварка</b>	Плавлением, при которой нагрев проводится сжатой дугой
<b>Сварные соединения и швы</b>	
<b>Сварное соединение</b>	Неразъемное соединение, выполненное сваркой
<b>Стыковое соединение</b> 	Двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями
<b>Угловое соединение</b> 	Двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев
<b>Нахлесточное соединение</b> 	В котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга
<b>Тавровое соединение</b> 	В котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента
<b>Торцевое соединение</b> 	В котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу

Продолжение табл. 1.1

1	2
<b>Сварная конструкция</b>	Металлическая конструкция, изготовленная сваркой отдельных деталей
<b>Сварной узел</b>	Часть конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу элементы
<b>Сварной шов</b>	Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или пластической деформации, при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации
<b>Стыковой шов</b>	Стыковое соединение
<b>Угловой шов</b>	Углового, нахлесточного или таврового соединений
<b>Точечный шов</b>	В котором связь между сваренными частями осуществляется сварными точками
<b>Сварная точка</b>	Элемент точечного шва, представляющий собой в плане круг или эллипс
<b>Ядро точки</b>	Зона сварной точки, металл которой подвергался расплавлению
<b>Непрерывный шов</b>	Без промежутков по длине
<b>Прерывистый шов</b>	С промежутками по длине
<b>Цепной прерывистый шов</b> 	Двусторонний, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого
<b>Шахматный прерывистый шов</b> 	Двусторонний, у которого промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва с другой ее стороны
<b>Подварочный шов</b>	Меньшая часть двустороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или накладываемая в последнюю очередь в корень шва
<b>Прихватка</b>	Короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей
<b>Монтажный шов</b>	Выполняемый при монтаже конструкции
<b>Валик</b>	Металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход
<b>Слой сварного шва</b>	Часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва



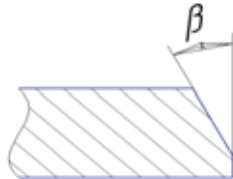
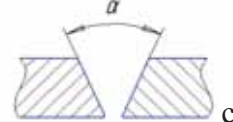
1	2
<p><b>Корень шва</b></p> 	<p>Часть сварного шва, наиболее удаленная от его лицевой поверхности</p>
<p><b>Выпуклость сварного шва</b></p> 	<p>Определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы сварного шва с основным металлом и поверхностью сварного шва, измеренным в месте наибольшей выпуклости</p>
<p><b>Вогнутость сварного шва</b></p> 	<p>Определяется расстоянием между плоскостью, проходящей через видимые линии границы углового шва с основным металлом и поверхностью шва, измеренным в месте наибольшей вогнутости</p>
<p><b>Толщина углового шва</b></p> 	<p>Наибольшее расстояние от поверхности углового шва до точки максимального проплавления основного металла</p>
<p><b>Расчетная высота углового шва</b></p> 	<p>Длина перпендикуляра, опущенного из точки максимального проплавления в месте сопряжения свариваемых частей на гипотенузу наибольшего вписанного во внешнюю часть углового шва прямоугольного треугольника</p>
<p><b>Катет углового шва</b></p> 	<p>Кратчайшее расстояние от поверхности одной из свариваемых частей до границы углового шва на поверхности второй свариваемой части</p>
<p><b>Ширина сварного шва</b></p>	<p>Расстояние между видимыми линиями сплавления на лицевой стороне сварного шва при варке плавлением</p>
<p><b>Коэффициент формы сварного шва</b></p>	<p>Коэффициент, выражаемый отношением ширины стыкового или углового шва к его толщине</p>
<p><b>Механическая неоднородность сварного соединения</b></p>	<p>Различие механических свойств отдельных участков сварного соединения</p>
<p><b>Мягкая прослойка сварного соединения</b></p>	<p>Участок сварного соединения, в котором металл имеет пониженные показатели твердости и (или) прочности по сравнению с металлом соседних участков</p>

Продолжение табл. 1.1

1	2
<b>Твердая прослойка сварного соединения</b>	Участок сварного соединения, в котором металл имеет повышенные показатели твердости и (или) прочности по сравнению с металлом соседних участков
<b>Разупрочненный участок сварного соединения</b>	Участок зоны термического влияния, в котором произошло снижение прочности основного металла
<b>Контактное упрочнение мягкой прослойки</b>	Повышение сопротивления деформированию мягкой прослойки сварного соединения за счет сдерживания ее деформаций соседними более прочными его частями
<b>Направление сварки</b>	Направление движения источника теплоты вдоль продольной оси сварного соединения
<b>Обратноступенчатая сварка</b> 	Сварка, при которой сварной шов выполняется следующими один за другим участками в направлении, обратном общему приращению длины шва
<b>Сварка блоками</b> 	Обратноступенчатая сварка, при которой многослойный шов выполняют отдельными участками с полным заполнением каждого из них
<b>Сварка каскадом</b> 	Сварка, при которой каждый последующий участок многослойного шва перекрывает весь предыдущий участок или его часть
<b>Проход при сварке</b>	Однократное перемещение в одном направлении источника теплоты при сварке и (или) наплавке
<b>Сварка напроход</b>	Сварка, при которой направление сварки неизменно
<b>Сварка вразброс</b>	Сварка, при которой сварной шов выполняется участками, расположенными в разных местах по его длине
<b>Сварка сверху вниз</b>	Сварка плавлением в вертикальном положении, при которой варочная ванна перемещается сверху вниз
<b>Сварка снизу вверх</b>	То же, но сварочная ванна перемещается снизу вверх
<b>Сварка на спуск</b>	Сварка плавлением в наклонном положении, при которой сварочная ванна перемещается сверху вниз



Продолжение табл. 1.1

1	2
<b>Сварка на подъем</b>	То же, но сварочная ванна перемещается снизу вверх
<b>Сварка углом вперед</b>	Дуговая сварка, при которой электрод наклонен под острым углом к направлению сварки
<b>Сварка углом назад</b>	Дуговая сварка, при которой электрод наклонен под тупым углом к направлению сварки
<b>Сварка на весу</b>	Односторонняя сварка со сквозным проплавлением кромок без использования подкладок
<b>Сварка неповоротных стыков</b>	Сварка по замкнутому контуру во всех пространственных положениях, при которой объект сварки неподвижен
<b>Поддув защитного газа</b>	Подача защитного газа к обратной стороне соединяемых частей для защиты их при сварке от воздействия воздуха
<b>Разделка кромки</b>	Придание кромкам, подлежащим сварке, необходимой формы
<b>Скос кромки</b> 	Прямолинейный наклонный срез кромки, подлежащей сварке
<b>Притупление кромки</b> 	Нескошенная часть торца кромки, подлежащей сварке
<b>Угол скоса кромки</b> 	Острый угол между плоскостью скоса кромки и плоскостью торца
<b>Угол разделки кромок</b> 	Угол между скошенными кромками свариваемых частей
<b>Зазор</b>	Кратчайшее расстояние между кромками собранных для сварки деталей
<b>Основной металл</b>	Металл подвергающихся сварке соединяемых частей
<b>Глубина проплавления</b>	Наибольшая глубина расплавления основного металла в сечении шва или наплавленного валика

*Продолжение табл. 1.1*

<b>Сварочная ванна</b>	Часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии
<b>Кратер</b>	Углубление, образующееся в конце валика под действием давления дуги и объемной усадки металла шва
<b>Присадочный металл</b>	Металл для введения в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу
<b>Наплавленный металл</b>	Переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл
<b>Металл шва</b>	Сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом
<b>Провар</b>	Сплошная металлическая связь между свариваемыми поверхностями основного металла, слоями и валиками сварного шва
<b>Зона сплавления при сварке</b>	Зона частичного оплавившихся зерен на границе основного металла и металла шва
<b>Зона термического влияния при сварке</b>	Участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке и наплавке
<b>Сжатая дуга</b>	Дуга, столб которой сжат с помощью сопла плазменной горелки, потока газа или внешнего электромагнитного поля
<b>Дуга прямого действия</b>	Дуга, при которой объект сварки включен в цепь сварочного тока
<b>Дуга косвенного действия</b>	Дуга, при которой объект сварки не включен в цепь сварочного тока
<b>Прямая полярность</b>	Полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект – к положительному
<b>Обратная полярность</b>	Полярность, при которой электрод присоединяется к положительному полюсу источника питания, а объект сварки – к отрицательному
<b>Магнитное дутье</b>	Отклонение дуги в результате действия магнитных полей или ферромагнитных масс при сварке
<b>Осадка при сварке</b>	Операция местной пластической деформации свариваемых частей при сварке с применением давления

Окончание табл. 1.1

1	2
<b>Грат при сварке</b>	Металл, выдавленный за счет осадки при сварке
<b>Угар при сварке</b>	Потери металла на испарение и окисление при сварке
<b>Установочная длина свариваемых частей</b>	Длина свариваемых частей, выступающих за зажимное приспособление при стыковой контактной сварке и сварке трением
<b>Свариваемость</b>	Металлический материал считается поддающимся сварке до установленной степени при данных процессах и для данной цели, когда сваркой достигается металлическая целостность при сопутствующем технологическом процессе, чтобы свариваемые детали отвечали техническим требованиям как в отношении их собственных качеств, так и в отношении их влияния на конструкцию, которую они образуют
<b>Коэффициент расплавления</b>	Коэффициент, выраженный отношением массы электрода, расплавленного за единицу времени горения дуги, к единице сварочного тока
<b>Коэффициент наплавки при сварке</b>	Коэффициент, выраженный отношением массы металла, наплавленного за единицу времени горения дуги, к единице сварочного тока
<b>Коэффициент потерь при сварке</b>	Коэффициент, выраженный отношением потерь металла при сварке на угар и разбрызгивание к массе расплавленного присадочного металла

## 1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ СВАРКИ

В настоящее время различают более 150 видов сварочных процессов. ГОСТ 19521-74 устанавливает классификацию сварочных процессов по основным физическим, техническим и технологическим признакам.

Основой физических признаков классификации является форма энергии, используемая для получения сварного соединения. По физическим признакам все виды сварки относят к одному из трех классов: термическому, термомеханическому и механическому (табл. 1.2).

Таблица 1.2

*Классификация сварки металлов по ГОСТ 19521-74*

Класс сварки	Определение	Вид сварки
1	2	3
Термический	Виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии	Дуговая Электрошлаковая Электронно-лучевая Плазменно-лучевая Ионно-лучевая Тлеющим разрядом Световая Индукционная Газовая Термитная Литейная
Термомеханический	Виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии давления	Контактная Диффузионная Индукционно-прессовая Газопрессовая Термокомпрессионная Дугопрессовая Шлакопрессовая Термтно-прессовая Печная
Механический	Виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления	Холодная Взрывом Ультразвуковая Трением Магнитно-импульсная
Примечание: В комбинированных технологических процессах возможно одновременное использование разных видов сварки		

К техническим признакам классификации сварочных процессов относят способы защиты металла в зоне сварки, непрерывность процесса и степень его механизации (рис. 1.1).

Технологические признаки классификации устанавливаются для каждого вида сварки отдельно. Например, вид дуговой сварки может быть классифицирован по следующим признакам: виду электрода, характеру защиты, уровню автоматизации.

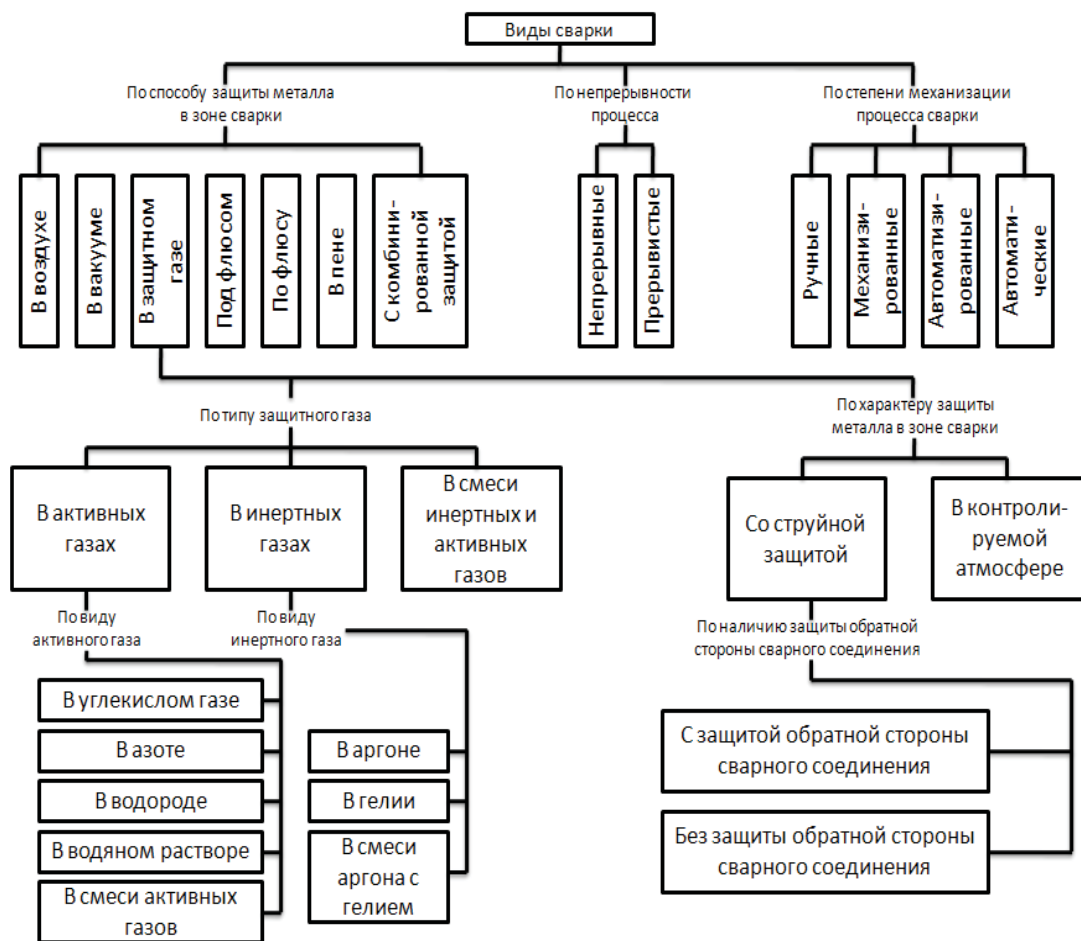


Рис. 1.1. Классификация способов дуговой сварки

### 1.3. ОСНОВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Источником нагрева при дуговых способах сварки является сварочная дуга, представляющая собой устойчивый электрический разряд, происходящий в газовой среде между двумя электродами или электродом и деталью. Для поддержания такого разряда нужной продолжительности необходимо применение специальных источников питания дуги (ИПД). Для питания дуги переменным током применяют сварочные трансформаторы, при постоянном токе – сварочные генераторы или сварочные выпрямители.

Разработка дуговой сварки обусловлена открытием электрической дуги в 1802 г. русским физиком В.В. Петровым. Впервые для соединения металлических частей с помощью электрической дуги, горячей между неплавящимся угольным электродом и свариваемым изделием, было осуществлено Н.Н. Бенардосом в 1882 г. При необходимости в сварочную ванну дополнительно подавался присадочный материал. В 1888 г. русский инженер Н.Г. Славянов усовершенствовал процесс, заменив

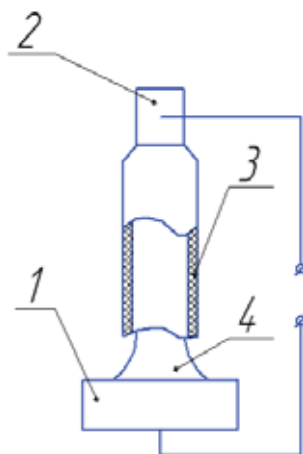
неплавящийся угольный электрод на плавящийся металлический. Тем самым было достигнуто объединение функций электрода для существования дугового разряда и присадочного металла для образования ванны. Предложенные Н.Н. Бенардосом и Н.Г. Славяновым способы дуговой сварки неплавящимся и плавящимся электродами легли в основу разработки наиболее распространенных современных способов дуговой сварки.

Дальнейшее совершенствование дуговой сварки шло по двум направлениям:

1. Изыскание средств защиты и обработки расплавленного металла сварочной ванны.
2. Автоматизация процесса.

По характеру защиты свариваемого металла и сварочной ванны от окружающей среды могут быть выделены способы дуговой сварки с шлаковой, газшлаковой и газовой защитой. По степени автоматизации процесса способы разделяют на ручную, механизированную и автоматическую сварку. Ниже приводятся характеристики и описание основных разновидностей дуговой сварки.

**Дуговая сварка покрытыми электродами (рис. 1.2).**



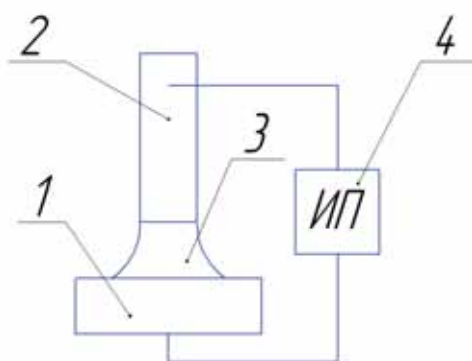
*Рис. 1.2. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами: 1 – деталь; 2 – стержень электрода; 3 – покрытие; 4 – дуга*

При этом способе процесс выполняется вручную. Сварочные электроды могут быть плавящиеся – стальные, медные, алюминиевые и др. Наиболее широко применяют сварку стальными электродами, имеющими на поверхности электродное покрытие. Покрытие электродов готовится из порошкообразной смеси различных компонентов и наносится на поверхность стального стержня в виде затвердевающей пасты. Его назначение – повысить устойчивость горения дуги, провести металлур-

гическую обработку сварочной ванны и улучшить качество сварки. Сварной шов образуют за счет расплавления металла свариваемых кромок и плавления стержня сварочного электрода.

При этом сварщик вручную осуществляет два основных технологических движения: подачу покрытого электрода в зону сварки по мере его расплавления и перемещение дуги вдоль свариваемого шва. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами – один из наиболее распространенных способов, используемых при изготовлении сварных конструкций. Она отличается простотой и универсальностью, возможностью выполнения соединений в различных пространственных положениях и труднодоступных местах. Существенный недостаток ее – малая производительность процесса и зависимость качества сварки от квалификации сварщика.

**Дуговая сварка неплавящимся электродом** (рис. 1.3). В настоящее время в качестве неплавящегося электрода используют преимущественно стержни из чистого вольфрама, реже из графита.



*Рис. 1.3. Электрическая сварочная цепь дуговой сварки:  
1 – свариваемая деталь; 2 – сварочный электрод; 3 – сварочная дуга;  
4 – источник питания дуги*

Применяемые вольфрамовые электроды должны отвечать требованиям ГОСТ 23949-80. Они могут содержать активирующие добавки оксида лантана (ЭВЛ), иттрия (ЭВИ), диоксида тория (ЭВТ). Эти добавки облегчают зажигание и поддерживают горение дуги, повышают эрозионную стойкость электрода. Наибольшее распространение получили электроды ЭВЛ и ЭВИ диаметром 0,5...10 мм, выдерживающие большую токовую нагрузку. Из-за окисления вольфрамовым электродом и их быстрого разрушения для защиты не допускается использовать газы, содержащие кислород. Основным защитным газом является аргон или аргоногелиевая смесь. Наряду с инертными газами для сварки

вольфрамовым электродом используют и некоторые активные газы, например азот и водород, или их смеси с аргоном.

**Дуговая сварка под флюсом** (рис. 1.4). Электрическая дуга горит между плавящимся электродом и деталью под слоем сварочного флюса, полностью закрывающего дугу и сварочную ванну от взаимодействия с воздухом. Сварочный электрод выполнен в виде проволоки, свернутой в катушку и автоматически подаваемой в зону сварки. Перемещение дуги вдоль свариваемых кромок может выполняться или вручную, или с помощью специального привода. В первом случае процесс ведется с помощью сварочных полуавтоматов, во втором – сварочных автоматов. Дуговая сварка под флюсом отличается высокой производительностью и качеством получаемых соединений. К недостаткам процесса следует отнести трудность сварки деталей небольших толщин, коротких швов и выполнение швов в основных положениях, отличных от нижних.

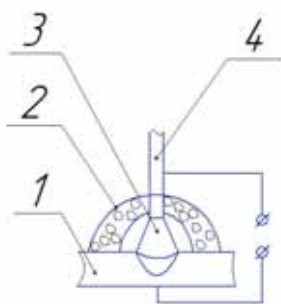


Рис. 1.4. Сварка под слоем флюса: 1 – деталь; 2 – слой флюса; 3 – дуга; 4 – электрод

**Дуговая сварка в защитных газах** (рис. 1.5).

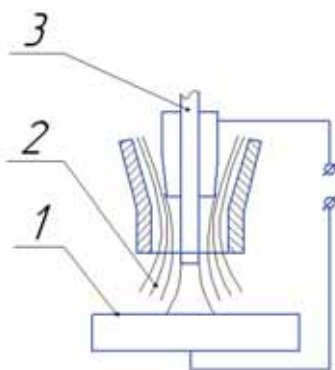


Рис. 1.5. Сварка в защитном газе: 1 – деталь; 2 – защитный газ; 3 – электрод

Электрическая дуга горит в среде специально подаваемых в зону сварки защитных газов. При этом можно использовать как неплавящийся, так и плавящийся электроды, а выполнять процесс ручным, механи-



зированным или автоматическим способом. При сварке неплавящимся электродом применяют присадочную проволоку, при плавящемся электроде присадки не требуется. Сварка в защитных газах отличается широким разнообразием и применяется для широкого круга металлов и сплавов.

**Электрошлаковая сварка** (рис. 1.6). Процесс сварки является бездуговым. В отличие от дуговой сварки для расплавления основного и присадочного металлов используется теплота, выделяющаяся при прохождении сварочного тока через расплавленный электропроводный шлак (флюс). После затвердевания расплава образуется сварной шов. Сварку выполняют чаще всего при вертикальном положении свариваемых деталей с зазором между ними. Для формирования шва по обе стороны зазора устанавливают медные ползуны-кристаллизаторы, охлаждаемые водой. Электрошлаковую сварку применяют для соединения деталей больших толщин (от 20 до 1000 мм и более).

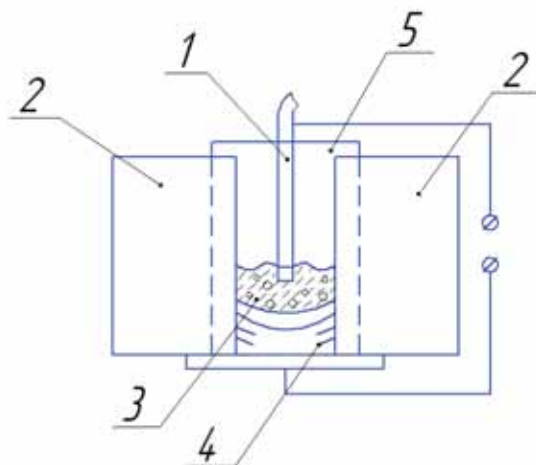


Рис. 1.6. Электрошлаковая сварка: 1 – электрод; 2 – деталь; 3 – шлаковая ванна; 4 – сварной шов; 5 – ползуны-кристаллизаторы

#### 1.4. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ

Металлическую конструкцию, изготовленную при помощи сварки из отдельных деталей, называют **сварной**, а часть такой конструкции – **сварным узлом**.

ГОСТ 2601-84 устанавливает ряд терминов и определений для сварных соединений и швов.

**Основной металл** – это металл подвергающихся сварке соединяемых частей.

**Сварным соединением** называют неразъемное соединение, выполненное сваркой. Оно включает в себя сварной шов, прилегающую к нему зону основного металла (зона термического влияния), в которой

в результате теплового воздействия сварки произошли структурные и другие изменения, и примыкающие к ней участки основного металла.

**Сварной шов** представляет собой участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны.

**Сварочная ванна** – это часть металла сварного шва, находящаяся во время сварки в расплавленном состоянии. Углубление, образующееся в шве по окончании процесса сварки, называют кратером.

Металл, подаваемый в зону дуги дополнительно к расплавленному основному металлу, называют присадочным. Переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл, называют наплавленным. Сплав, образованный переплавленным основным или переплавленным основным и наплавленным металлами, называют металлом шва.

По форме сопряжения соединяемых деталей различают следующие типы сварных соединений: стыковое, угловое, торцовое, тавровое и нахлестанное. Применяют также нахлесточные соединения с точечными и прорезными сварными швами, выполненными дуговой сваркой.

**Стыковое соединение** (рис. 1.7, а) представляет собой сварное соединение двух деталей, расположенных в одной плоскости и примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями. Оно наиболее распространено в сварных конструкциях, поскольку имеет ряд преимуществ перед другими видами соединений.

**Угловое соединение** (рис. 1.7, б) – это сварное соединение двух элементов, расположенных под углом друг к другу и сваренных в месте примыкания их кромок.

**Торцовое соединение** (рис. 1.7, в) представляет собой соединение, в котором боковые поверхности элементов примыкают друг к другу.

**Тавровое соединение** (рисунок 1.7, г) – это соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент. Как правило, угол между элементами прямой.

**Нахлесточное соединение** (рис. 1.7, д) представляет собой сварное соединение, в котором соединяемые элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга.

В зависимости от типов сварных соединений различают стыковые и угловые сварные швы. Стыковые швы выполняют при сварке стыковых соединений, угловые – при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений.

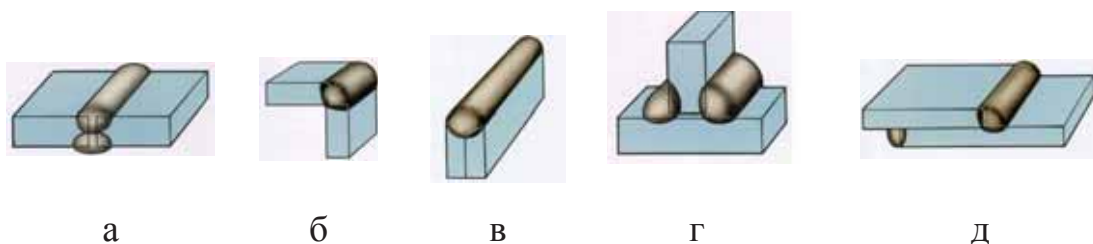


Рис. 1.7. Типы сварных соединений: а – стыковое; б – угловое; в – торцевое; г – тавровое; д – нахлесточное

По характеру выполнения сварные швы могут быть одно- и двусторонними, а по числу слоев – одно- и многослойными, а также многопроходными (рис. 1.8).

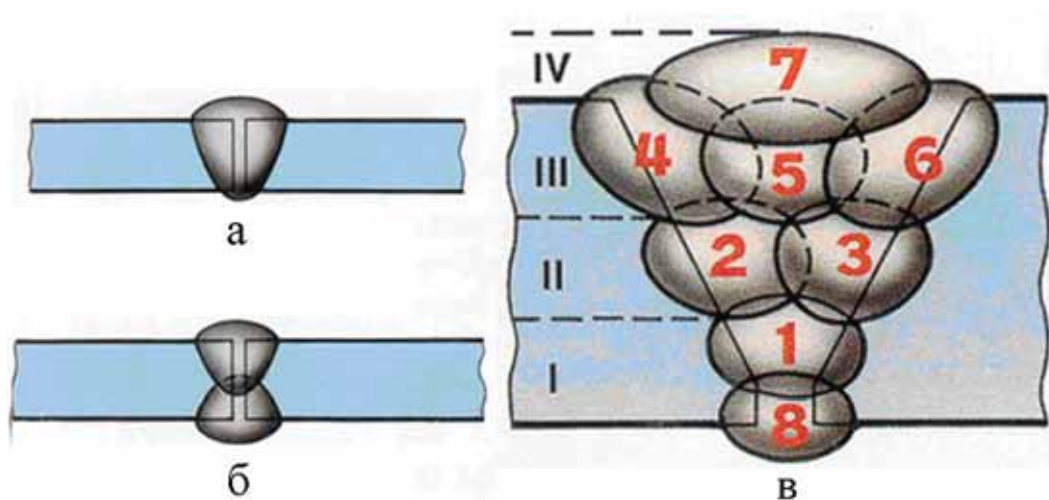


Рис. 1.8. Одно- (а) и двусторонний (б) односторонний швы и многослойный многопроходный сварной шов (в): 1–8 – очередность выполнения проходов; 1 – корневой шов; 7 – облицовочный шов; 8 – подварочный шов; I–IV – слои

**Слой сварного шва** – это часть металла шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, расположенных на одном уровне поперечного сечения шва. Валик представляет собой металл шва, наплавленный или переплавленный за один проход. Под проходом понимают выполнение валика в одном направлении при сварке или наплавке. Часть сварного шва, наиболее удаленную от его лицевой поверхности, называют **корнем**. Шов, выполняемый предварительно для предотвращения прожогов при многопроходной сварке или наплавленный в корень шва для обеспечения гарантированного проплавления, называют **подварочным**.

Основные геометрические параметры стыкового и углового швов в соответствии с ГОСТ 2601-84 приведены на рисунке 1.9.

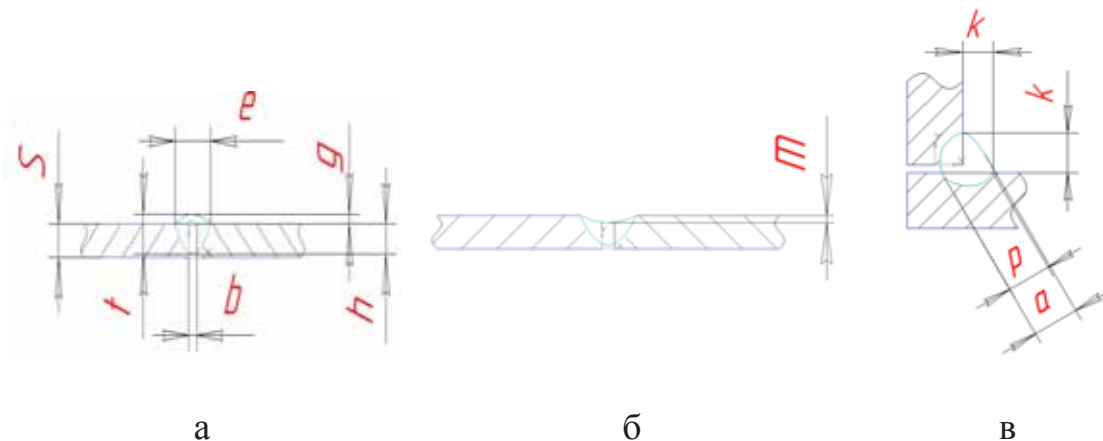


Рис. 1.9. Основные геометрические параметры стыковых (а, б) и углового (в) сварных швов:  $S$  – толщина детали;  $e$  – ширина шва;  $g$  – выпуклость (усиление);  $m$  – вогнутость (ослабление);  $h$  – глубина проплавления;  $t$  – толщина стыкового шва;  $b$  – зазор в стыке;  $k$  – катет углового шва;  $p$  – расчетная высота углового шва;  $a$  – толщина углового шва

В зависимости от расположения швов в конструкции сварку выполняют в разных положениях: нижнем, горизонтальном, вертикальном и потолочном (рис. 1.10).

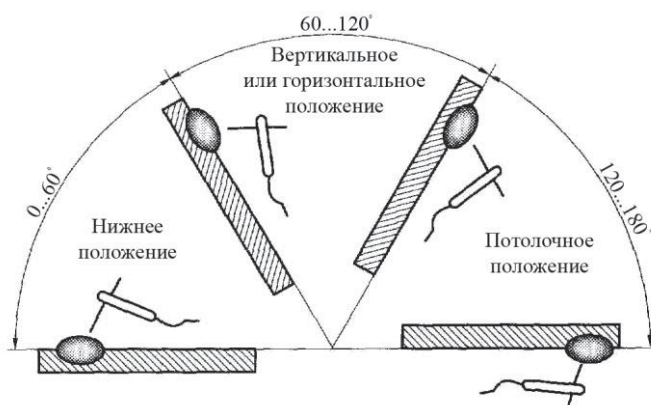


Рис. 1.10. Основные пространственные положения сварки

Сварные швы также подразделяются по положению в пространстве: «в лодочку», нижние, полугоризонтальные, горизонтальные, полувертикальные, вертикальные, полупотолочные и потолочные (рис. 1.11).

По протяженности различают швы непрерывные (сплошные) и прерывистые. **Непрерывный шов** – это сварной шов без промежутков по длине, прерывистый шов такие промежутки имеет. Прерывистые швы могут быть цепными или шахматными (рис. 1.12, а).

По отношению к направлению действующего усилия  $P$  швы подразделяют на продольные, поперечные, комбинированные и косые (рис. 1.12, б).

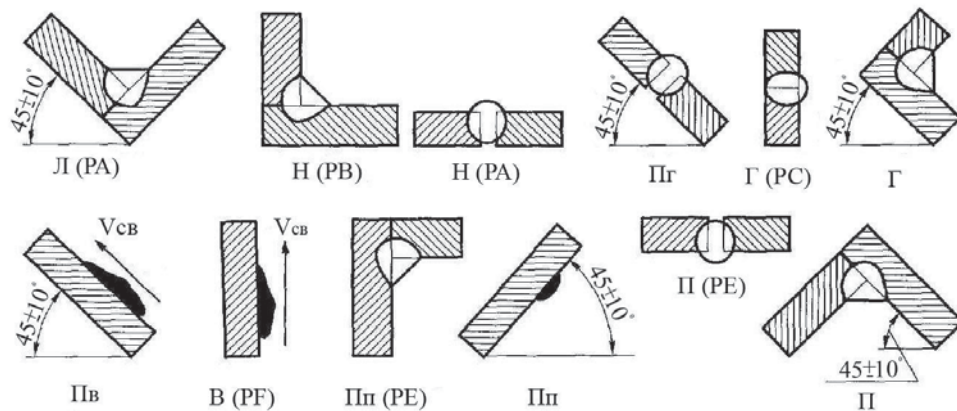


Рис. 1.11. Обозначение швов, имеющих разное пространственное положение (в скобках приведены существующие международные обозначения): Л – «в лодочку»; Н – нижнее; Пг – полугоризонтальное; Г – горизонтальное; Пв – полувертикальное; В – вертикальное; Пп – полупотолочное; П – потолочное

По условиям работы швы бывают рабочие, воспринимающие внешние нагрузки. И связующие (соединительные), предназначенные только для крепления частей изделия и не рассчитанные на восприятие внешних нагрузок.

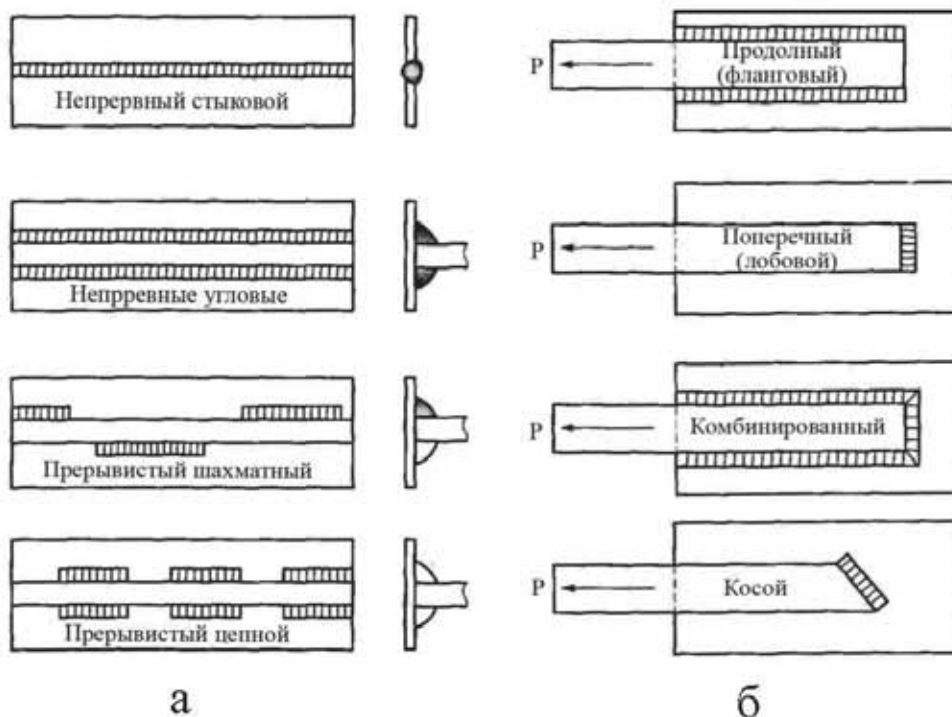


Рис. 1.12. Классификация сварных швов по протяженности (а) и направлению действующего усилия (б)

## 1.5. УСЛОВНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ ШВОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Согласно Единой системе конструкторской документации (ЕСКД), изображения и обозначения швов сварных соединений на чертежах изделий должны соответствовать ГОСТ 2312-72 «Изображение швов сварных соединений». Независимо от вида сварки видимый шов сварного соединения условно изображают сплошной основной линией (рис. 1.13), а невидимый – штриховой. Обозначение шва отмечают линией-выноской, заканчивающейся односторонней стрелкой.

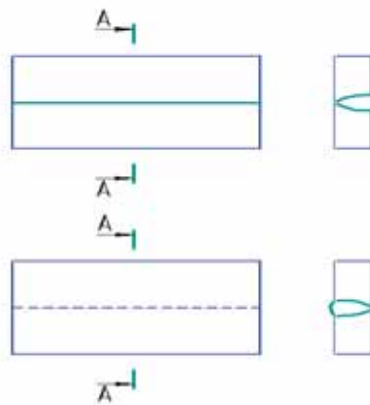


Рис. 1.13. Изображение сварных швов на чертежах

Характеристика шва проставляется над полкой линии-выноски (для лицевой стороны шва) или под полкой (для обратной стороны шва). Структура условного обозначения стандартного шва приведена на рисунке 1.14.

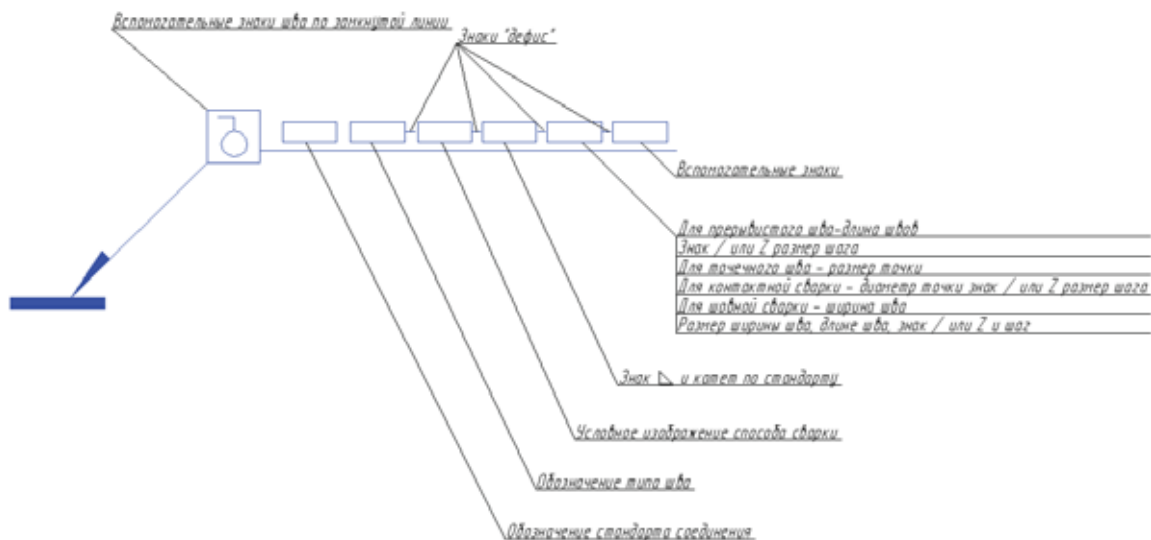




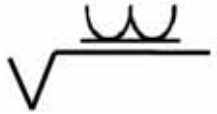
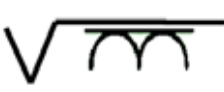

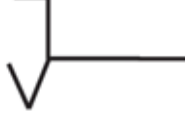

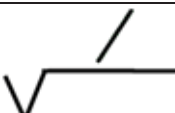
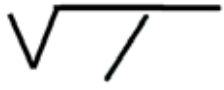


Рис. 1.14. Структура условных обозначений сварных швов

Ниже приведены номера некоторых стандартов на виды и конструктивные элементы швов сварных соединений для различных видов сварки: ГОСТ 8713-79 «Сварка под флюсом. Сварные соединения»; ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные»; ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Сварные соединения»; ГОСТ 15164-79 «Электрошлаковая сварка. Соединения сварные». Этими стандартами в зависимости от толщины металла устанавливаются формы поперечного сечения и конструктивные элементы подготовленных кромок и выполненных швов, которым присваивают условные буквенно-цифровые обозначения. Для обозначения сварных швов используют также вспомогательные знаки (табл. 1.3). Все элементы условного обозначения располагаются в указанной последовательности и отделяются друг от друга дефисом. Буквенные обозначения способа сварки необходимо проставлять на чертеже только в случае применения в данном изделии нескольких видов сварки, например П – механизированная дуговая сварка, А – автоматическая дуговая, У – дуговая в углекислом газе и др. Ручная дуговая сварка не имеет буквенного обозначения. Можно не указывать на полке минивыноски обозначения стандарта, если все швы в изделии выполняются по одному стандарту. В этом случае следует сделать соответствующее указание в примечаниях на чертеже. Примеры условного обозначения сварных швов приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.3

*Вспомогательные знаки для условного обозначения сварных швов*

Вспомогательный знак	Значение вспомогательного знака	Расположение вспомогательного знака относительно линии-выноски	
		С лицевой стороны	С обратной стороны
	Выпуклость шва снять		
	Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением		

Окончание табл. 1.3

Z	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
○	Шов по замкнутой линии		
□	Шов по незамкнутой линии		

Таблица 1.4

Примеры условного обозначения сварных швов

Наименование шва	Примеры обозначения
Стыковой односторонний на остающейся подкладке, со скосом двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами	ГОСТ 5264-80 С16 
Стыковой двусторонний, с двумя симметричными скосами двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами. Участок перехода от шва к основному металлу дополнительно обработан	ГОСТ 5264-80 С21
Стыковой односторонний со скосом двух кромок, замковый. Усиление шва снято механической обработкой	ГОСТ 5264-80 С17
Шов углового соединения односторонний, без скоса кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами на монтаже. Катет шва 5 мм	ГОСТ 5264-80 У4
Шов таврового соединения невидимый односторонний, выполненный по замкнутому контуру дуговой сваркой в углекислом газе плавящимся электродом. Шов прерывистый с шахматным расположением участков. Катет шва 6 мм, длина провариваемого участка 50 мм, шаг 150 мм	 ГОСТ 14771-76-Т4-УП



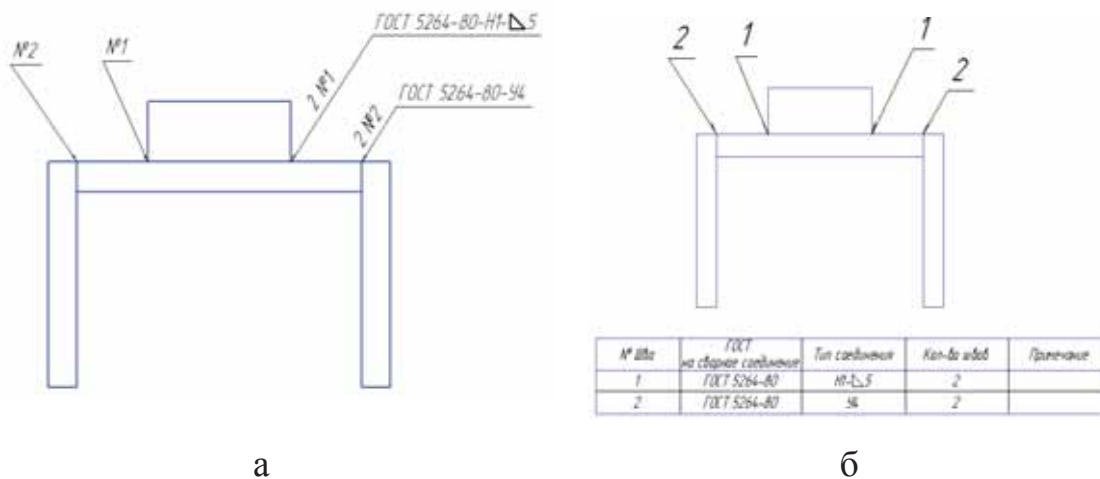


Рис. 1.15. Обозначение повторяющихся сварных швов на чертеже:  
а – с выносом одного из них на чертеже; б – со сводом всех сварных швов в таблицу

## ВОПРОСЫ

1. Что называют сварными соединениями?
2. Что представляет собой сварной шов?
3. Как классифицируют сварные соединения и швы?
4. Что называют стыковым, угловым, нахлесточным и тавровым соединениями согласно ГОСТ 2601-84?
5. Что представляет собой подварочный шов?
6. Что называют корнем шва?
7. Для чего необходимы скос кромок, их притупление и зазор между свариваемыми частями?
8. Какие виды дуговой сварки знаете?
9. Как изображаются и обозначаются сварные швы на чертеже?
10. В чем отличие дуги прямого действия от дуги косвенного действия?

## ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СВАРКИ

### 2.1. ПРИРОДА СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Электрическая дуга представляет собой один из видов электрических разрядов в газах, при котором наблюдается прохождение электрического тока через газовый промежуток под воздействием электрического поля. Электрическую дугу, используемую для сварки металлов, называют **сварочной дугой**. Дуга является частью электрической сварочной цепи, и на ней происходит падение напряжения. При сварке на постоянном токе электрод, подсоединенный к положительному полюсу источника питания дуги, называют **анодом**, а к отрицательному – **катодом**. Если сварка ведется на переменном токе, каждый из электродов является попеременно то анодом, то катодом.

Промежуток между электродами называют **областью дугового разряда** или **дуговым промежутком**. Длину дугового промежутка называют **длиной дуги**. В обычных условиях при низких температурах газы состоят из нейтральных атомов и молекул и не обладают электрической проводимостью. Прохождение электрического тока через газ возможно только при наличии в нем заряженных частиц – электронов и ионов. Процесс образования заряженных частиц газа называют **ионизацией**, а сам газ – **ионизованным**. Возникновение заряженных частиц в дуговом промежутке обуславливается эмиссией (испусканием) электронов с поверхности отрицательного электрода (катада) и ионизацией находящихся в промежутке газов и паров. Дуга, горящая между электродом и объектом сварки, является дугой **прямого действия**. Такую дугу принято называть **свободной дугой** в отличие от сжатой, поперечное сечение которой принудительно уменьшено за счет сопла горелки, потока газа, электромагнитного поля. Возбуждение дуги происходит следующим образом. При коротком замыкании электрода и детали в местах касания их поверхности разогреваются. При размыкании электродов с нагретой поверхности катада происходит испускание электронов – электронная эмиссия. Выход электронов в первую очередь связывают с термическим эффектом (термоэлектронная эмиссия) и наличием у катада электрического поля высокой напряженности (автоэлектронная эмиссия). Наличие электронной эмиссии с поверхности катада является непременным условием существования дугового разряда.

По длине дугового промежутка дуга разделяется на три области (рис. 2.1): катодную, анодную и находящийся между ними столб дуги.

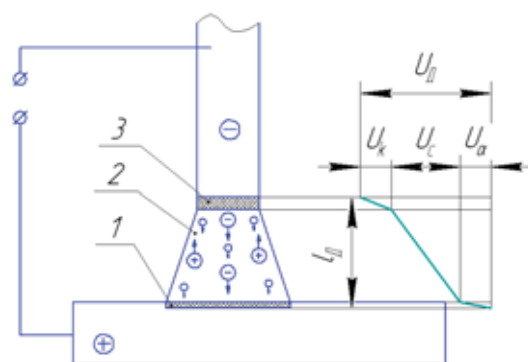


Рис. 2.1. Строение электрической дуги и распределение напряжения в ней:  
1 – катодная область; 2 – столб дуги; 3 – анодная область

Катодная область включает в себя нагретую поверхность катода, называемую катодным пятном, и часть дугового промежутка, примыкающую к ней. Протяженность катодной области мала, но она характеризуется повышенной напряженностью и протекающими в ней процессами получения электронов, являющимися необходимым условием для существования дугового разряда. Температура катодного пятна для стальных электродов достигает 2400–2700 °С. На нем выделяется до 38 % общей теплоты дуги. Основным физическим процессом в этой области является электронная эмиссия и разгон электронов. Падение напряжения в катодной области  $U_k$  составляет порядка 12–17 В.

Анодная область состоит из анодного пятна на поверхности анода и части дугового промежутка, примыкающего к нему. Ток в анодной области определяется потоком электронов, идущих из столба дуги. Анодное пятно является местом входа и нейтрализации свободных электронов в материале анода. Оно имеет примерно такую же температуру, как и катодное пятно, но в результате бомбардировки электронами на нем выделяется больше теплоты, чем на катоде. Анодная область также характеризуется повышенной напряженностью. Падение напряжения в ней  $U_a$  составляет порядка 2–11 В. Протяженность этой области также мала.

Столб дуги занимает наибольшую протяженность дугового промежутка, расположенную между катодной и анодной областями. Основным процессом образования заряженных частиц здесь является ионизация газа. Этот процесс происходит в результате соударения заряженных (в первую очередь электронов) и нейтральных частиц газа. При достаточной энергии соударения из частиц газа происходит выбивание электронов и образование положительных ионов. Такую ионизацию называют ионизацией соударением. Соударение может произойти и без ионизации, тогда энергия соударения выделяется в виде теплоты и идет на

повышение температуры дугового столба. Образующиеся в столбе дуги заряженные частицы движутся к электродам: электроны – к аноду, ионы – к катоду. Часть положительных ионов достигает катодного пятна, другая же часть не достигает и, присоединяя к себе отрицательно заряженные электроны, ионы становятся нейтральными атомами.

Такой процесс нейтрализации частиц называют рекомбинацией. В столбе дуги при всех условиях горения ее наблюдается устойчивое равновесие между процессами ионизации и рекомбинации. В целом столб дуги не имеет заряда. Он нейтрален, так как в каждом сечении его одновременно находятся равные количества противоположно заряженных частиц. Температура столба дуги достигает 6000–8000 °С и более. Падение напряжения в нем ( $U_c$ ) изменяется практически линейно по длине, увеличиваясь с увеличением длины столба. Падение напряжения зависит от состава газовой среды и уменьшается с введением в нее легко ионизирующихся компонентов. Такими компонентами являются щелочные и щелочно-земельные элементы (Ca, Na, K и др.). Общее падение напряжения в дуге  $U_d = U_k + U_a + U_c$ . Принимая падение напряжения в столбе дуги в виде линейной зависимости, его можно представить формулой  $U_c = El_c$ , где  $E$  – напряженность по длине,  $l_c$  – длина столба. Значения  $U_k$ ,  $U_a$ ,  $E$  практически зависят лишь от материала электродов и состава среды дугового промежутка и при их неизменности остаются постоянными при разных условиях сварки. В связи с малой протяженностью катодной и анодной областей можно считать практически  $l_c = l_d$ . Тогда получается выражение

$$U_d = a + bl_d, \quad (2.1)$$

показывающее, что напряжение дуги прямым образом зависит от ее длины, где  $a = U_k + U_a$ ;  $b = E$ . Непременным условием получения качественного сварного соединения является устойчивое горение дуги (ее стабильность). Под этим понимают такой режим ее существования, при котором дуга длительное время горит при заданных значениях силы тока и напряжения, не прерываясь и не переходя в другие виды разрядов. При устойчивом горении сварочной дуги основные ее параметры – сила тока и напряжение – находятся в определенной взаимозависимости. Поэтому одной из основных характеристик дугового разряда является зависимость ее напряжения от силы тока при постоянной длине дуги. Графическое изображение этой зависимости при работе в статическом режиме (в состоянии устойчивого горения дуги) называют **статической вольтамперной характеристикой дуги** (рис. 2.2).

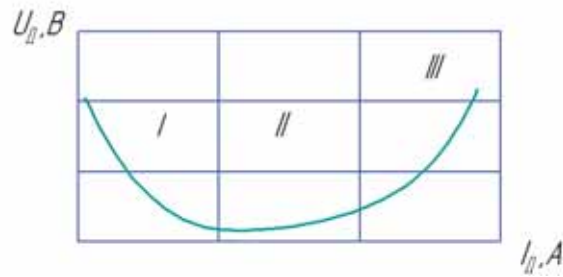


Рис. 2.2. Статическая вольтамперная характеристика дуги

С увеличением длины дуги ее напряжение возрастает и кривая статической вольтамперной характеристики поднимается, выше с уменьшением длины дуги опускается ниже, качественно сохраняя при этом свою форму. Кривую статической характеристики можно разделить на три области: падающую, жесткую и возрастающую. В первой области увеличение тока приводит к резкому падению напряжения дуги. Это обусловлено тем, что с увеличением силы тока увеличивается площадь сечения столба дуги и его электропроводность. Горение дуги на режимах в этой области отличается малой устойчивостью. Во второй области увеличение силы тока не связано с изменением напряжения дуги. Это объясняется тем, что площадь сечения столба дуги и активных пятен изменяется пропорционально силе тока, в связи с чем плотность тока и падение напряжения в дуге сохраняются постоянными. Сварка дугой с жесткой статической характеристикой находит широкое применение в сварочной технологии, особенно при ручной сварке. В третьей области с увеличением силы тока напряжение возрастает. Это связано с тем, что диаметр катодного пятна становится равным диаметру электрода и увеличиваться далее не может, при этом в дуге возрастает плотность тока и падает напряжение. Дуга с возрастающей статической характеристикой широко используется при автоматической и механизированной сварке под флюсом и в защитных газах с применением тонкой сварочной проволоки.

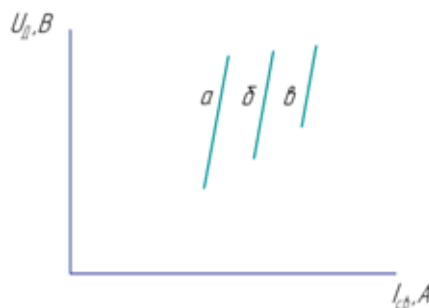


Рис. 2.3. Статистическая вольтамперная характеристика дуги при разных скоростях подачи электродной проволоки: а – малая скорость; б – средняя скорость, в – большая скорость

При механизированной сварке плавящимся электродом иногда применяют статическую вольтамперную характеристику дуги, снятую не при постоянной ее длине, а при постоянной скорости подачи электродной проволоки (рис. 2.3).

Как видно из рисунка, каждой скорости подачи электродной проволоки соответствует узкий диапазон токов с устойчивым горением дуги. Слишком малый сварочный ток может привести к короткому замыканию электрода с изделием, а слишком большой – к резкому возрастанию напряжения и ее обрыву.

## **2.2. ОСОБЕННОСТИ ДУГИ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ**

При сварке на постоянном токе в установившемся режиме все процессы в дуге протекают с определенной скоростью и горение дуги отличается высокой стабильностью.

При питании дуги переменным током полярность электрода и изделия, а также условия существования дугового разряда периодически изменяются. Так, дуга переменного тока промышленной частоты 50 Гц погасает и вновь возбуждается 100 раз в секунду, или дважды за каждый период. Поэтому особо возникает вопрос об устойчивости горения дуги переменного тока. В первую очередь, устойчивость горения такой дуги зависит от того, насколько легко происходит повторное возбуждение дуги в каждом полупериоде. Это определяется ходом физических и электрических процессов в дуговом промежутке и на электродах в отрезки времени между каждым погасанием и новым зажиганием дуги. Снижение тока сопровождается соответствующим уменьшением температуры в столбе дуги и степени ионизации дугового промежутка. При переходе тока через ноль и перемене полярности в начале и конце каждого полупериода дуга гаснет. Одновременно падает и температура активных пятен на аноде и катоде. Падение температуры несколько отстает по фазе при переходе тока через ноль, что связано с тепловой инерционностью процесса. Особенно интенсивно падает температура активного пятна, расположенного на поверхности сварочной ванны, в связи с интенсивным отводом теплоты в массу детали. В следующий за погасанием дуги момент меняется полярность напряжения на дуговом промежутке (рис. 2.4).

Одновременно изменяется и направление движения заряженных частиц в дуговом промежутке. В условиях пониженной температуры активных пятен и степени ионизации в дуговом промежутке повторное зажигание дуги в начале каждого полупериода происходит только при повышен-

ном напряжении между электродами, именуемым пиком **зажигания** или **напряжением повторного зажигания дуги**.



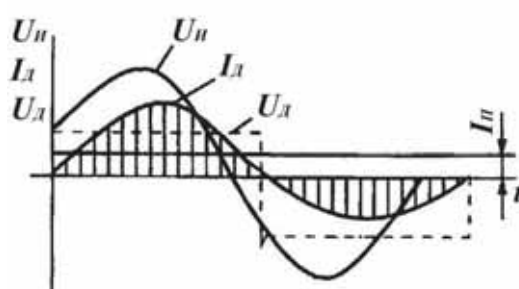
Рис. 2.4. Изменение полярности при горении дуги на переменном токе

Пик зажигания всегда выше напряжения дуги, соответствующего стабильному режиму ее горения. При этом величина пика зажигания несколько выше в тех случаях, когда катодное пятно находится на основном металле. Величина пика зажигания существенно влияет на устойчивость горения дуги переменного тока. Деионизация и охлаждение дугового промежутка возрастают с увеличением длины дуги, что приводит к необходимости дополнительного повышения пика зажигания и влечет снижение устойчивости дуги. Поэтому затухание и обрыв дуги переменного тока при прочих равных условиях всегда происходят при меньшей ее длине, чем для постоянного тока. При наличии в дуговом промежутке паров легкоионизирующихся элементов пик зажигания уменьшается и устойчивость горения дуги переменного тока повышается.

С увеличением силы тока физические условия горения дуги улучшаются, что также приводит к снижению пика зажигания и повышению устойчивости дугового разряда. Таким образом, величина пика зажигания является важной характеристикой дуги переменного тока и оказывает существенное влияние на ее устойчивость. Чем хуже условия для повторного возбуждения дуги, тем больше разница между пиком зажигания и напряжением дуги. Чем выше пик зажигания, тем выше должно быть напряжение холостого хода источника питания дуги током. При сварке на переменном токе неплавящимся электродом, когда материал его и изделия резко различаются по своим теплофизическим свойствам, проявляется выпрямляющее действие дуги. Это характеризуется протеканием в цепи переменного тока некоторой составляющей постоянного тока, сдвигающей в определенном направлении кривые напряжения и тока от горизонтальной оси (рис. 2.5). Наличие в сварочной це-

пи составляющей постоянного тока отрицательно сказывается на качестве сварного соединения и условиях процесса: уменьшается глубина проплавления, увеличивается напряжение дуги, значительно повышается температура электрода и увеличивается его расход. Поэтому приходится применять специальные меры для подавления действия постоянной составляющей.

При сварке плавящимся электродом, близким по составу к основному металлу, на режимах, обеспечивающих устойчивое горение дуги, выпрямляющее действие дуги незначительно и кривые тока и напряжения располагаются практически симметрично относительно оси абсцисс.



*Рис. 2.5. Постоянная составляющая тока в сварочной цепи при горении дуги на переменном токе*

### **2.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДУГИ**

Под технологическими свойствами сварочной дуги понимают совокупность ее теплового, механического и физико-химического воздействия на электроды, определяющие интенсивность плавления электрода, характер его переноса, проплавление основного металла, формирование и качество шва. Технологические свойства дуги взаимосвязаны и определяются параметрами режима сварки.

Важными технологическими характеристиками дуги являются зажигание и стабильность горения дуги. Условия зажигания и горения дуги зависят от рода тока, полярности, химического состава электродов, межэлектродного промежутка и его длины. Для надежного обеспечения процесса зажигания дуги необходимо подведение к электродам достаточного напряжения холостого хода источника питания дуги, но в то же время безопасного для работающего. Для сварочных источников напряжение холостого хода не превышает 80 В на переменном токе и 90 В на постоянном. Обычно напряжение зажигания дуги больше напряжения горения дуги на переменном токе в 1,2–2,5 раза, а на постоянном токе — в 1,2–1,4 раза. Дуга зажигается от нагрева электродов, возникающего при их соприкосновении. В момент отрыва электрода от изде-



лия с нагретого катода происходит электронная эмиссия. Электронный ток ионизует газы и пары металла межэлектродного промежутка, и с этого момента в дуге появляются электронный и ионный токи. Время установления дугового разряда составляет  $10^{-5}$ – $10^{-4}$ . Поддержание непрерывного горения дуги будет осуществляться, если приток энергии в дугу компенсирует ее потери. Таким образом, условием для зажигания и устойчивого горения дуги является наличие специального источника питания электрическим током.

Вторым условием является наличие ионизации в дуговом промежутке. Степень протекания этого процесса зависит от химического состава электродов и газовой среды в дуговом промежутке. Степень ионизации выше при наличии в дуговом промежутке легкоионизирующихся элементов. Горящая дуга может быть растянута до определенной длины, после чего она гаснет. Чем выше степень ионизации в дуговом промежутке, тем длиннее может быть дуга. Максимальная длина горящей без обрыва дуги характеризует важнейшее технологическое свойство ее – стабильность. Стабильность дуги зависит от целого ряда факторов: температуры катода, его эмиссионной способности, степени ионизации среды, длины дуги и др.

К технологическим характеристикам дуги относятся также пространственная устойчивость и эластичность. Под этим понимают способность сохранения дугой неизменности пространственного положения относительно электродов в режиме устойчивого горения и возможность отклонения и перемещения без затухания под воздействием внешних факторов. Такими факторами могут быть магнитные поля и ферромагнитные массы, с которыми дуга может взаимодействовать. При этом взаимодействии наблюдается отклонение дуги от естественного положения в пространстве. Отклонение столба дуги под действием магнитного поля, наблюдаемое в основном при сварке постоянным током, называют **магнитным дутьем** (рис. 2.6).

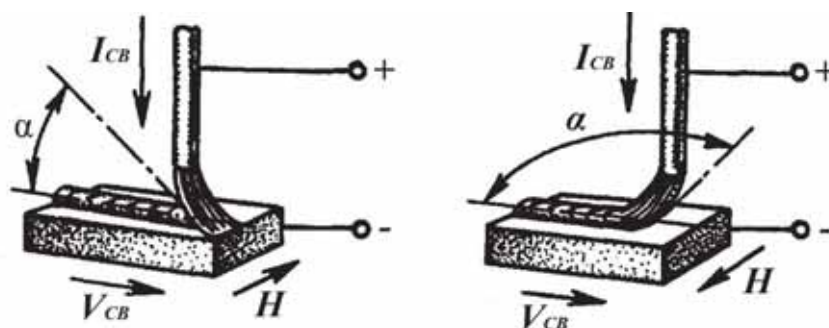


Рис. 2.6. Отклонение дуги магнитным полем при сварке:  $H$  – направление магнитного поля;  $\alpha$  – угол отклонения дуги

Возникновение его объясняется тем, что в местах изменения направления тока создаются напряженности магнитного поля. Дуга является своеобразной газовой вставкой между электродами и как любой проводник взаимодействует с магнитными полями. При этом столб сварочной дуги можно рассматривать в качестве гибкого проводника, который под воздействием магнитного поля может перемещаться, как любой проводник, деформироваться и удлиняться. Это приводит к отклонению дуги в сторону, противоположную большей напряженности. При сварке переменным током в связи с тем, что полярность меняется с частотой тока, это явление проявляется значительно слабее. Отклонение дуги также имеет место при сварке вблизи ферромагнитных масс (железо, сталь). Это объясняется тем, что магнитные силовые линии проходят через ферромагнитные массы, обладающие хорошей магнитной проницаемостью, значительно легче, чем через воздух. Дуга в этом случае отклонится в сторону таких масс.

Возникновение магнитного дутья вызывает непровары и ухудшение формирования швов. Устранить его можно за счет изменения места токоподвода к изделию или угла наклона электрода, временным размещением балластных ферромагнитных масс у сварного соединения, позволяющих выравнять несимметричность магнитных полей, а также заменой постоянного тока переменным.

## ВОПРОСЫ

1. Что называют длиной дуги?
2. Какой процесс называют ионизацией?
3. Что понимают под статической вольтамперной характеристикой дуги?
4. Каковы особенности горения дуги на переменном токе?
5. Что называют напряжением холостого тока источника питания дуги  $U_{\text{ХХ}}$ ?
6. Что относят к технологическим характеристикам дуги?
7. В каких случаях используют прямую полярность, и в каких обратную?
8. Назовите основные процессы, протекающие в различных областях дуги.

## ГЛАВА 3. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

### 3.1. СВАРОЧНАЯ ДУГА КАК ИСТОЧНИК НАГРЕВА

Сварочная дуга является мощным концентрированным источником теплоты. Электрическая энергия, потребляемая дугой, в основном превращается в тепловую энергию. Выделение тепловой энергии происходит в анодном и катодном активных пятнах и дуговом промежутке. При нагреве детали наибольшей интенсивности тепловой поток дуги достигает в центральной зоне активного пятна (рис. 3.1).

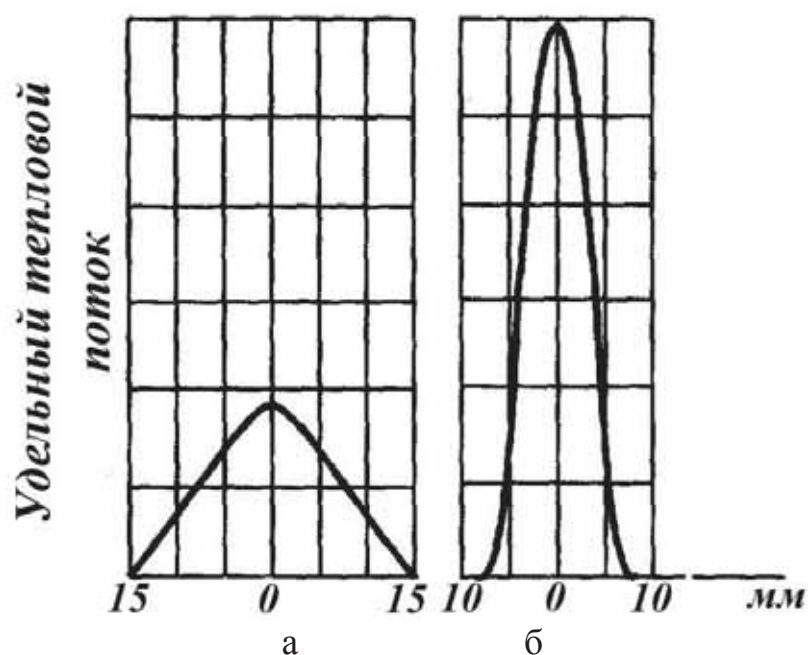


Рис. 3.1. Удельный тепловой поток при нагреве дугой: а – при сварке покрытым электродом; б – при сварке под слоем флюса

По мере удаления от центра пятна интенсивность теплового потока убывает. Распределение теплоты вдоль дугового промежутка происходит в соответствии с падением напряжения в его областях.

**Полная тепловая мощность дуги  $Q$  (Дж/с)** зависит от силы сварочного тока  $I_{св}$  (А) и напряжения дуги  $U_{д}$  (В)

$$Q = I_{св} U_{д}. \quad (3.1)$$

Однако не вся теплота дуги затрачивается на расплавление металла, т.е. на собственно сварку. Значительная часть ее расходуется на теплоотдачу в окружающую среду, расплавление электродного покрытия или флюса, разбрызгивание и т.п. Характер распределения полной тепловой мощности по отдельным статьям расхода определяют термином «тепловой баланс дуги». На рисунке 3.2 показаны схемы тепловых балансов дуги при ручной сварке покрытыми электродами и сварке под флюсом.

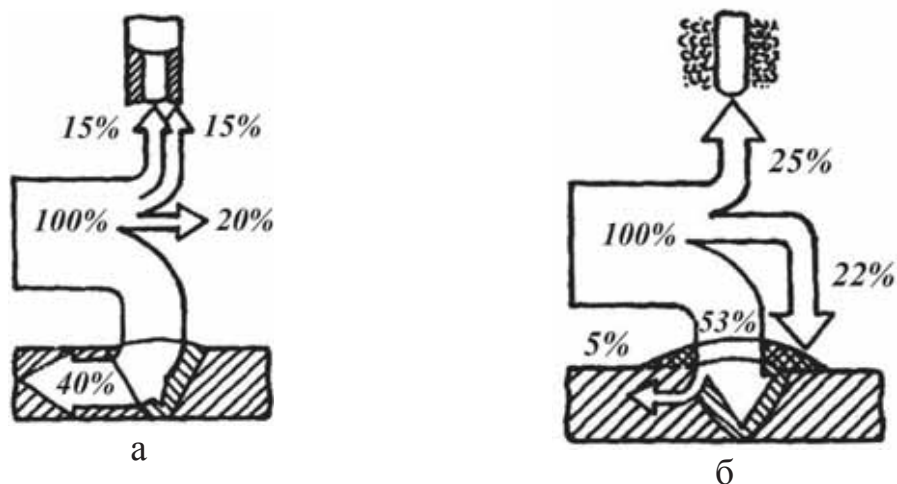


Рис. 3.2. Тепловой баланс при сварке: а – покрытым электродом; б – под слоем флюса

Часть общей тепловой мощности дуги, расходуемой непосредственно на нагрев и расплавление основного и присадочного металлов, называют эффективной тепловой мощностью дуги  $q$  (Дж/с). Она всегда меньше полной тепловой мощности дуги. Эффективная тепловая мощность сварочной дуги представляет собой количество теплоты, введенное дугой в свариваемую деталь в единицу времени. Она определяется уравнением

$$Q = I_{\text{св}} U_{\text{д}} \eta, \quad (3.2)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия дуги, представляющий собой отношение эффективной тепловой мощности к полной тепловой мощности дуги. Эффективная тепловая мощность зависит от способа сварки, материала электрода, состава покрытия или флюса и ряда других факторов. Данные значений для различных способов сварки приведены на таблице 3.1.

Таблица 3.1

*Значение  $\eta$  для различных способов сварки*

Способ сварки	Значение $\eta$
В защитном газе вольфрамовым электродом	0,6
Покрытым электродом	0,75
Под флюсом	0,8–0,9

Данные рисунка 3.2 и таблицы 3.1 показывают, что теплота дуги наиболее рационально используется при автоматической сварке под флюсом.

### 3.2. ПЛАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА ЭЛЕКТРОДА И ЕГО ПЕРЕНОС В ДУГЕ ПРИ СВАРКЕ

Нагрев и плавление электрода осуществляются за счет энергии, выделяемой в активном пятне, расположенном на его торце, и теплоты, выделяющейся по закону Джоуля-Ленца, при протекании сварочного тока по вылету электрода. Вылетом называют свободный участок электрода от места контакта с токопроводом до его торца. В начальный момент ручной дуговой сварки вылет электрода составляет 400 мм и изменяется по мере плавления электрода, при автоматической сварке он равен 12–60 мм. Расплавляясь в процессе сварки, жидкий металл с торца электрода переходит в сварочную ванну в виде капель разного размера. За 1с может переноситься от 1–2 до 150 капель и более в зависимости от их размера. Независимо от основного положения сварки капли жидкого металла всегда перемещаются вдоль оси электрода по направлению к сварочной ванне. Это объясняется действием на каплю разных сил в дуге. В первую очередь к ним относятся гравитационная сила, электромагнитная сила, возникающая при прохождении по электроду сварочного тока, сила поверхностного натяжения, давление образующихся внутри капли газов, которые отрывают ее от электрода и дробят на более мелкие капли.

Гравитационная сила проявляется в стремлении капли перемещаться по вертикали сверху вниз.

Сила поверхностного натяжения обеспечивает капле сферическую форму. Электромагнитные силы играют важнейшую роль в отрыве и направленном переносе капель к сварочной ванне при сварке швов в любом пространственном положении. Электрический ток, проходя по электроду, создает вокруг него магнитное поле, оказывающее сжимающее действие. Сжатие расплавленной части электрода приводит к образованию шейки у места перехода к твердому металлу (рис. 3.3).

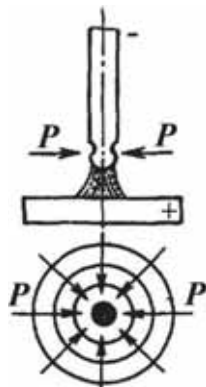


Рис. 3.3. Схема сжимающего действия электромагнитных сил на жидкую каплю электродного металла

По мере уменьшения ее сечения и возрастания плотности тока жидкий металл формируется и отделяется в виде сферической капли. При этом капля за счет действия электромагнитной силы приобретает направленность движения к сварочной ванне. Сила внутреннего давления газов также участвует в переносе капли. Расплавленный металл на электроде сильно перегрет. Образующиеся в нем газы способствуют отрыву его от торца электрода и могут раздробить на более мелкие капли.

При дуговой сварке плавящимся электродом различают три типа переноса электродного металла: крупнокапельный, мелкокапельный, или струйный, и перенос с образованием коротких замыканий дуги.

Характер переноса капель с электрода в сварочную ванну зависит от силы сварочного тока и напряжения дуги. Установлено, что с увеличением силы тока размер капель уменьшается, а число их, образующихся в единицу времени, возрастает. С увеличением напряжения дуги, наоборот, размер капель увеличивается, а число их уменьшается. Так, при сварке голой проволокой на малых токах (плотностях) жидкий металл переходит в сварочную ванну в виде крупных капель с кратковременными замыканиями дугового промежутка, а при сварке покрытыми электродами и под флюсом на обычных плотностях тока – в виде мелких капель без замыкания дугового промежутка. При сварке в защитных газах и под флюсом тонкой проволокой на повышенных плотностях тока наблюдается мелкокапельный (струйный) перенос металла. В этом случае очень мелкие капли образуют сплошную коническую струю жидкого металла, переходящего в шов также без коротких замыканий, что уменьшает разбрызгивание металла и улучшает формирование швов.

### **3.3. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ**

Производительность процесса дуговой сварки оценивают по количеству проплавленного в единицу времени основного металла  $G_{ПР}$  и количеству наплавленного металла  $G_H$ , определяемого как избыток массы конструкции после сварки по сравнению с массой до сварки.

При сварке неплавящимся электродом соединений встык или с отбортовкой без присадочной проволоки важно обеспечить производительность проплавления, а при сварке плавящимся электродом – производительность проплавления и наплавки. При сварке плавящимся электродом производительность оценивают по количеству наплавленного электродного металла, определяемого по формуле:

$$G_H = \alpha_H I_{CB} t_0, \quad (3.3)$$

где  $I_{CB}$  – сила тока, А;  $t_0$  – основное время сварки (время чистого горения дуги), ч;  $\alpha_H$  – коэффициент наплавки, г/(А×ч).

**Коэффициент наплавки** выражается отношением массы металла, наплавленного за единицу времени горения дуги, к единице силы сварочного тока. Обычно его представляют количеством наплавленного в течение 1 ч электродного металла (г), приходящимся на 1 А сварочного тока. При сварке покрытыми электродами коэффициент наплавки составляет 6–12 г/(А×ч), под флюсом – 10–16, в углекислом газе – 12–20, при электрошлаковой – 18–22 г/(А×ч).

Производительность наплавки  $G_H$  связана с производительностью расплавления электродной проволоки

$$G_p = \alpha_p \cdot I_{CB} \cdot t_0, \quad (3.4)$$

где  $\alpha_p$  – коэффициент расплавления электродной проволоки, г/(А×ч).

**Коэффициент расплавления** выражают отношением массы электрода, расплавленного за единицу времени горения дуги, к единице силы сварочного тока. Обычно его представляют количеством расплавленного металла электрода в течение 1 часа, приходящимся на 1 А сварочного тока. Скорость расплавления электродного металла в значительной степени определяет производительность и эффективность процесса сварки, а коэффициент расплавления зависит от ряда факторов, определяющих условия сварки: рода и силы тока, полярности, напряжения дуги, состава и толщины покрытия электрода или флюса. Коэффициент расплавления при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов заметно изменяется с изменением полярности тока и состава газа. При увеличении сварочного тока, как правило, коэффициент расплавления возрастает. Особенно это заметно при больших плотностях тока, применяемых при механизированной и автоматической сварке. В большинстве случаев при сварке коэффициент  $\alpha_H$  меньше коэффициента  $\alpha_p$  на величину потерь электродного металла, возникающих за счет угара и разбрызгивания. Эта часть металла, не участвующая в образовании шва, характеризуется коэффициентом потерь  $a$ , который выражают в процентах

$$a = \frac{G_p - G_H}{G_H} \quad (3.5)$$

или

$$a = \frac{\alpha_p - \alpha_H}{\alpha_H} \cdot 100. \quad (3.6)$$

Коэффициент потерь зависит от способа сварки, типа электрода и параметров режима. На потери значительное влияние оказывает характер капельного переноса электродного металла в дуге при сварке. Так,

при сварке покрытыми электродами он составляет 5–10 %, под флюсом – 1–5 %, в защитных газах – 1–5 %. В тех случаях, когда в составе электродных покрытий или наполнителя порошковой проволоки содержится значительное количество металлических составляющих, коэффициент  $\alpha$  может иметь положительную величину, т.е.  $\alpha_H$  будет больше  $\alpha_P$ .

### ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой сварочная дуга?
2. Что понимают под тепловым балансом при различных видах дуговой сварки?
3. Что является общей тепловой мощностью дуги и что эффективной?
4. Как закон Джоуля-Ленца влияет на процесс нагрева и плавления электрода?
5. Какие силы действуют на каплю расплавленного электродного металла?
6. Что понимают под плотностью тока?
7. Как происходит расплавление электрода и перенос металла в дуге? Основные типы капельного переноса.
8. Как при ручной дуговой сварке покрытыми электродами увеличить производительность процесса?
9. Что понимают под термином «коэффициент наплавки»?
10. Чем отличаются коэффициент наплавки от коэффициента расплавления?



## ГЛАВА 4. НАГРЕВ СВАРИВАЕМОГО МЕТАЛЛА

### 4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАГРЕВЕ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ

Нагревание металла в сварном соединении при дуговой сварке определяется эффективной тепловой мощностью дуги и распределением выделяемой теплоты на поверхности и в объеме детали. Наибольшей интенсивности тепловой поток сварочной дуги достигает в центральной зоне активного пятна, где вследствие электронной и ионной бомбардировки происходит непосредственное выделение теплоты в поверхностных слоях металла. В пограничных с активным пятном областях металл нагревается в основном за счет лучистого обмена со столбом дуги и конвективного обмена с горячими газами дуги. По мере удаления от центра пятна интенсивность теплового потока убывает (см. рис. 3.1). Из приведенных данных видно, что тепловой поток дуги при сварке под флюсом является более сосредоточенным, чем при ручной дуговой сварке. Знание о распространении теплоты при сварке имеет важное значение для изучения процессов, связанных с нагревом металла при всех видах сварки.

Распространение теплоты в основном металле происходит за счет теплопроводности. В начальный момент сварки поступление теплоты в металл от дуги превышает его теплоотвод от места нагрева. При этом температура металла в точках, находящихся на определенном расстоянии от дуги, непрерывно повышается. Такое состояние металла в сварном соединении рассматривается как неустановившийся тепловой режим. По прошествии некоторого времени наступает равновесие между количеством теплоты, поступающей от источника нагрева, и теплоты, отводимой в изделие. При этом температура металла в точках, находящихся на определенных расстояниях от дуги, остается неизменной. Тепловое состояние металла достигает определенной стабильности и характеризуется как установившийся тепловой режим.

Схематическое изображение теплового состояния металла в сварном соединении обычно производят с помощью системы изотерм – линий, соединяющих точки с одинаковой температурой. Семейство таких изотерм для определенных условий сварки рассматривается как температурное поле в нагреваемом металле. В свою очередь, по отношению к нагреваемому металлу источники теплоты делятся на неподвижные и подвижные, перемещающиеся с определенной скоростью. Для сварочных условий наиболее характерным является применение подвижных источников нагрева.

## 4.2. ФОРМИРОВАНИЕ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

Образование сварочной ванны является важнейшим этапом получения соединения при сварке плавлением. От формы и размеров сварочной ванны зависят форма и размеры сварных швов. Последние во многом определяют эксплуатационные характеристики получаемых соединений.

Форму и размеры сварочной ванны определяют границами изотермической поверхности объемного теплового поля, соответствующие температуре плавления металла ТПЛ. Однако такой подход является несколько идеализированным, поскольку формирование объема расплавленного металла учитывает лишь эффект распространения теплоты вглубь металла за счет теплопроводности. В реальных условиях сварки сварочная ванна формируется под действием целого ряда сил, действующих в ней, в первую очередь силы тяжести жидкого металла, поверхностного натяжения его и давления самого источника нагрева. Дуга, обеспечивающая местный нагрев и расплавление кромок соединяемых элементов, оказывает на расплавленный металл давление, за счет которого он вытесняется из передней части ванны, т.е. из области с наибольшей интенсивностью нагрева в ее хвостовую часть. Это ведет к уменьшению толщины жидкой прослойки под дугой и создает условия для углубления ванны. В результате изменяются очертания зоны расплавления (рис. 4.1). Давление на расплавленный металл определяется разностью его уровней  $h$  в ванне. Изменение условий сварки, в свою очередь, существенно отражается на формировании сварочной ванны, соотношении ее геометрических размеров.

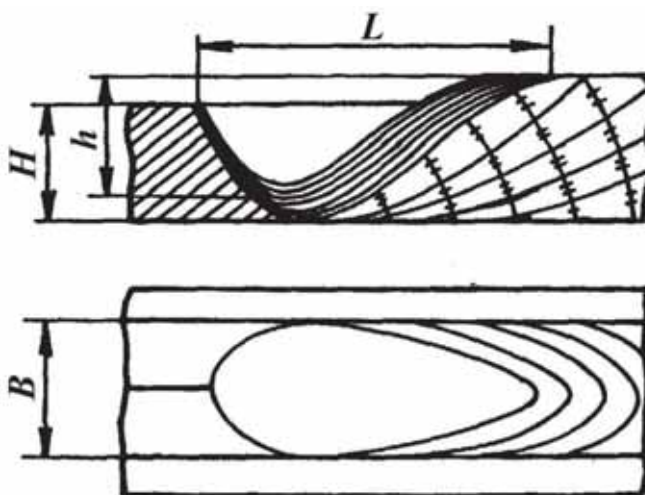


Рис. 4.1. Параметры формы сварочной ванны

Так, увеличение эффективной тепловой мощности, сосредоточенности источника, увеличение давления дуги ведут к увеличению глубины проплавления и уменьшению ширины. При этом ванна удлиняется. Важным фактором, влияющим на геометрические параметры ванны, является пространственное расположение выполняемых швов. При сварке изделий в наклонном положении на подъем (перемещение ванны снизу вверх) глубина проплавления возрастает, при сварке на спуск (перемещение ванны сверху вниз) – снижается (рис. 4.2, б). В первом случае жидкий металл перетекает в хвостовую часть ванны, уменьшая толщину жидкой прослойки под дугой, во втором случае, наоборот, он затекает в головную часть ванны и толщина прослойки увеличивается.

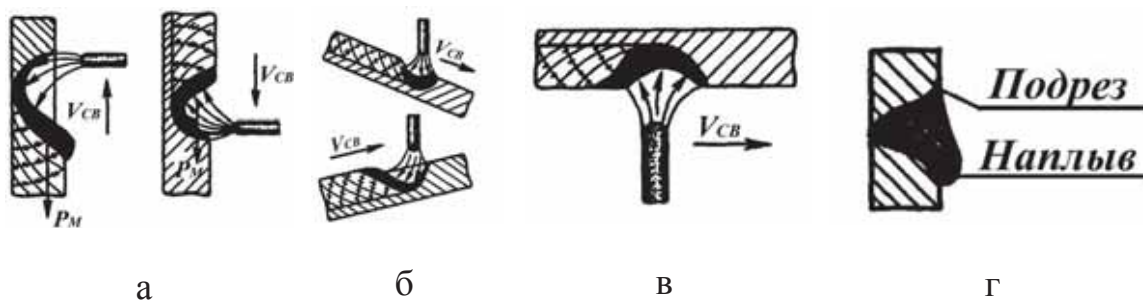


Рис. 4.2. Формирование сварочной ванны в разных положениях: а – вертикальном; б – наклонном; в – потолочном; г – горизонтальном

При сварке в вертикальном положении (рис. 4.2, а) процесс можно вести сверху вниз (на спуск) и снизу вверх (на подъем). В обоих случаях сила тяжести направлена вниз. При сварке на подъем сварочная ванна удерживается только силой поверхностного натяжения. При этом глубина проплавления резко возрастает. Для удержания расплава приходится ограничивать тепловую мощность дуги и размеры ванны. При сварке на спуск удержанию жидкого металла способствует давление дуги, а глубина проплавления уменьшается.

При сварке в потолочном положении (рис. 4.2, в) сварочная ванна удерживается силами поверхностного натяжения и давлением источника нагрева. Для удержания ванны в потолочном положении также необходимы меры по ограничению ее объема. Особенно неблагоприятные условия формирования ванны создаются при выполнении горизонтальных швов (рис. 4.2, г). Расплавленный металл натекает на нижнюю кромку. Это приводит к образованию несимметричной выпуклой формы шва, а также подрезов. Требование к сокращению размеров сварочной ванны в этом случае особенно жесткое.

Важным фактором, влияющим на работоспособность сварных соединений и также связанным с образованием сварочной ванны, является формирование проплавления корня шва. На рисунке 4.3 показаны силы,

действующие на ванну. Ванна удерживается на весу силой поверхностного натяжения  $P_{\Pi}$ , определяемой по формуле:

$$P_{\Pi} = \sigma_{\text{ж}} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (4.1)$$

где  $\sigma_{\text{ж}}$  – поверхностное натяжение расплавленного металла;  $r$  – радиус кривизны.

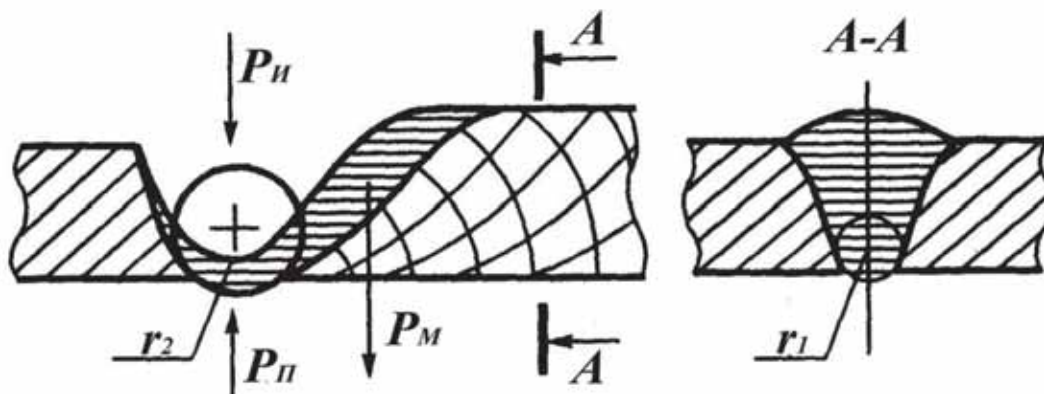


Рис. 4.3. Схема формирования проплавления сварного шва:  
 $r_1$  – радиус кривизны в поперечном сечении шва;  
 $r_2$  – радиус кривизны в продольном сечении шва

Поверхностное натяжение уравнивает давление  $P_{\text{д}}$ , оказываемое на ванну дугой, и металлостатическое давление  $P_{\text{м}} = h \cdot \nu$ , определяющееся разницей уровней  $h$  и плотностью расплавленного металла  $\nu$ .

Условие равновесия ванны в положении на весу можно записать так:

$$P_{\text{д}} + P_{\text{м}} = \sigma_{\text{ж}} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right). \quad (4.2)$$

Из этой формулы следует, что удержание ванны облегчается при уменьшении радиуса кривизны проплава, определяющегося его размерами в поперечном  $r_1$  и продольном  $r_2$  сечениях. С увеличением ширины и протяженности ванны возрастают радиусы кривизны поверхности жидкого металла в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В момент достижения одним из радиусов величины, большей критической, металлостатическое давление расплавленного металла и сила давления дуги превысят силу поверхностного натяжения, удерживающую сварочную ванну. Произойдет разрыв поверхностного слоя в корне шва, и жидкий металл вытечет из ванны, образуя прожог. Особенно часто это наблюдается при сварке металла малой толщины, когда сварочная ванна по ширине значительно превышает толщину свариваемого металла. Наиболее распространенной мерой предупреждения прожогов и обеспечения формирования проплава требуемой формы является правильный выбор сварочных режимов и применение сварочных подкладок.

#### 4.3. ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА ДУГОВОЙ СВАРКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМУ И РАЗМЕРЫ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

К основным параметрам дуговой сварки относятся сила сварочного тока  $I_{CB}$ , напряжение дуги  $U_d$ , скорость сварки  $V_{CB}$ . Помимо того, условия сварки зависят от ряда дополнительных факторов, диаметра электрода, рода и полярности тока, положения электрода по отношению к ванне и др.

Сила сварочного тока в наибольшей степени определяет тепловую мощность дуги. При постоянном диаметре электрода с увеличением силы тока возрастает концентрация тепловой энергии в пятне нагрева, повышается температура газовой среды столба дуги, стабилизируется положение активных пятен на электродах. С увеличением силы тока дуги возрастают длина сварочной ванны, ее ширина и особенно глубина проплавления. В определенных пределах изменения силы тока глубина проплавления сварочной ванны может быть оценена зависимостью, близкой к линейной:

$$H = kI_{CB}, \quad (4.3)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от рода тока, полярности, диаметра электрода, степени сжатия дуги и др.

С увеличением напряжения дуги также возрастает тепловая мощность, а, следовательно, и размеры ванны. Наиболее интенсивно увеличиваются ширина и длина ванны. При постоянной силе тока повышение напряжения дуги незначительно сказывается на глубине проплавления. Путем медленного уменьшения длины дуги и соответственно напряжения ее можно подойти к процессу сварки погруженной дугой.

Изменение скорости сварки при постоянной тепловой мощности дуги заметно сказывается на размерах сварочной ванны и шва. С повышением скорости уменьшаются глубина проплавления и ширина ванны, а длина несколько увеличивается.

Важным параметром дуговой сварки является погонная энергия, представляющая отношение эффективной тепловой мощности дуги к скорости ее перемещения (скорости сварки). Этот параметр является обобщающим по отношению к основным параметрам сварочного режима и может быть представлен формулой

$$Q_H = \frac{I_{CB} \cdot U_g \cdot \eta}{V_{CB}}. \quad (4.4)$$

Погонная энергия характеризует тепловложение в сварное соединение и представляет количество тепловой энергии, вводимое на единицу длины однопроходного шва. Этот параметр очень важен для оценки воздействия термического цикла сварки на основной и наплавленный

металл шва. При постоянной погонной энергии повышение скорости сварки вызывает увеличение термического к.п.д. процесса, что связано с возрастанием глубины проплавления и уменьшением ширины сварочной ванны.

Дополнительными параметрами, определяющими условия сварки и особенности горения дуги, являются диаметр электрода, род тока и др. Например, при постоянной силе тока диаметр электрода определяет плотность энергии в пятне нагрева и подвижность дуги. При неизменном значении погонной энергии можно изменять диаметр электрода, род тока и полярность, использовать колебания электрода или наклон его к поверхности изделия и др. Эти особенности процесса, в свою очередь, сказываются на формировании ванны и конечных размеров швов.

### ВОПРОСЫ

1. Что понимают под термином «теплопроводность металла»?
2. Как отличаются характеры изотерм при неподвижном источнике нагрева и подвижном источнике нагрева?
3. Как основные параметры режима сварки влияют на форму и размеры сварочной ванны?
4. Как пространственное положение выполняемых швов влияют на геометрические параметры ванны?
5. Какие факторы влияют на формирование теплового поля при сварке?
6. Охарактеризуйте понятие погонной энергии и её определение при дуговой сварке?
7. От каких факторов зависит термический цикл сварки?
8. Что такое температурное поле и от каких параметров оно зависит?
9. Какие силы определяют формирование сварочной ванны?
10. Чем обусловлен нагрев электрода при сварке?

## ГЛАВА 5. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ

### 5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ СВАРОЧНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

По своей природе сварка является металлургическим процессом. Металлургия сварки характеризуется теми физико-химическими процессами, которые протекают в сварочной зоне. Они определяются взаимодействием расплавленного металла со сварочными флюсами, шлаками и газами, а также охлаждением и кристаллизацией металла шва и превращениями основного металла в зоне термического влияния. Эти процессы протекают на всех стадиях дуговой сварки: в период плавления электрода, перехода капли жидкого металла через дуговой промежуток и в самой сварочной ванне. Однако в отличие от общей металлургии, характерной для сталеплавильных агрегатов, условия протекания металлургических процессов при сварке отличаются рядом особенностей, влияющих как на ход их развития, так и на получаемые результаты. Такими особенностями являются:

1. Малый объем сварочной ванны и в то же время достаточно большие относительные количества реагирующих фаз в ней.
2. Высокие температуры в различных областях сварочной зоны и большой перегрев расплава в ванне.
3. Движение жидкого металла, интенсивное перемешивание расплавленных продуктов и их непрерывное обновление и обмен в сварочной ванне.
4. Высокие скорости охлаждения и кристаллизации наплавленного металла.

В этих условиях наблюдается активное взаимодействие расплавленного металла с окружающей газовой средой и флюсами, нагретыми до высоких температур. Протекание процессов происходит с большой скоростью. Однако в связи с кратковременностью существования расплава и постоянного обновления взаимодействующих фаз чаще всего они не доходят до полного завершения и большинство реакций в сварочной зоне не достигает равновесного состояния. К тому же создаются условия, препятствующие полному очищению металла шва от различных неметаллических включений, оксидов и газов, которые из-за быстрого затвердевания расплава не успевают выходить на поверхность сварочной ванны и удаляться в шлак. С другой стороны, высокие скорости охлаждения и кристаллизации металла существенно отражаются на строении получаемых швов, приводят к мелкозернистой структуре их, уменьшению химической неоднородности, а в результате – повышению свойств литого металла шва.

Имеющие место металлургические процессы связаны с протеканием определенных химических реакций, в результате которых может происходить окисление или раскисление металла шва, легирование его определенными элементами, растворение и выделение в шве газов и др. Некоторые из них ведут к ухудшению свойств получаемых соединений и являются нежелательными (например, окисление), другие способствуют повышению качества и свойств соединений и часто проводятся преднамеренно, например, раскисление. Поэтому в том или ином случае назначения условий сварки необходимо исходить из анализа прохождения всего комплекса физико-химических процессов, имея в виду, что общим результатом их должно быть получение металла шва с определенными свойствами и определенного химического состава. Это определяется не только составом присадочного и основного металла, но и в значительной степени зависит от характера и интенсивности реакций, протекающих в процессе сварки.

## 5.2. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Процессов, протекающих в условиях дуговой сварки, много. Рассмотрим те, которые имеют общий характер во всех или большинстве случаев выполнения сварки.

**Диссоциация газов и соединений.** При диссоциации происходит распад более сложных компонентов на атомы или составные части. Этому процессу способствуют наличие высоких температур в зоне сварки и каталитическое действие расплавленного металла. При дуговой сварке в первую очередь диссоциации подвергаются молекулы газов как простых – кислород, азот, водород, так и сложных – углекислый газ  $\text{CO}_2$ , пары воды  $\text{H}_2\text{O}$  и др. Диссоциация газов происходит по реакциям:



Кислород и водород при температурах дуги практически полностью диссоциируют на атомы, азот диссоциирует в меньшей степени.

Диссоциация водяного пара в зависимости от температуры происходит по реакциям:



Следовательно, в зависимости от условий протекания реакций водяной пар может окислять или восстанавливать металл сварочной ванны.



Диссоциации подвергаются и более сложные соединения. Во многих электродных покрытиях и флюсах содержится плавиковый шпат  $\text{CaF}_2$ . При высоких температурах он разлагается по реакции



Атомы фтора, соединяясь с электронами, превращаются в ионы с малой подвижностью. Это ведет к снижению проводимости дугового промежутка и ухудшению стабильности дуги. Но в то же время атомы фтора способны связывать водород в молекулы  $\text{HF}$ , не растворяющиеся в металле ванны, уменьшая насыщение металла шва водородом.

В состав многих покрытий электродов входят карбонаты, например  $\text{CaCO}_3$ . Разлагаясь при высоких температурах, они выделяют углекислый газ, который, в свою очередь, диссоциирует с образованием кислорода



Находясь в атомарном состоянии, газы становятся химически активными и, реагируя с металлом, резко ухудшают его качество.

**Окисление металла при сварке.** Металл сварочной ванны может окисляться за счет кислорода, содержащегося в газовой среде и шлаках в зоне сварки. Кроме того, окисление может происходить и за счет оксидов (окалины, ржавчины), находящихся на кромках деталей и поверхности электродной проволоки. При нагреве имеющаяся в ржавчине влага испаряется, молекулы воды диссоциируют, а получающийся кислород окисляет металл. Окалина при плавлении металла превращается в оксид железа также с выделением свободного кислорода. При недостаточной защите сварочной ванны окисление происходит за счет кислорода воздуха.

Кислород с железом образует оксиды:  $\text{FeO}$  (22,3 %  $\text{O}_2$ ),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (27,6 %  $\text{O}_2$ ),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (30,1%  $\text{O}_2$ ). При высокой температуре сварочной дуги за счет атомарного кислорода в результате реакции  $\text{Fe} + \text{O}$ .

$\text{FeO}$  образуется низший оксид, который при понижении температуры может переходить в другие формы высших оксидов.

Наибольшую опасность для качества шва представляет оксид  $\text{FeO}$ , способный растворяться в жидком металле. Этот оксид обладает температурой плавления меньшей, чем у основного металла. Поэтому при кристаллизации металла шва он затвердевает в последнюю очередь. В результате он располагается в виде прослоек по границам зерен, что вызывает снижение пластических свойств металла шва. Чем больше кислорода в шве находится в виде  $\text{FeO}$ , тем сильнее ухудшаются его механические свойства. Высшие оксиды железа не растворяются в жидком металле и,

если они не успевают всплывать на поверхность сварочной ванны, остаются в металле шва в виде шлаковых включений.

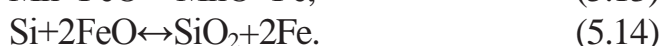
Железо может окисляться также за счет кислорода, содержащегося в  $\text{CO}_2$  и парах воды  $\text{H}_2\text{O}$ :



В процессе сварки, кроме железа, окисляются и другие элементы, находящиеся в стали, – углерод, кремний, марганец. При переходе

Апель электродного металла в дуге окисление элементов происходит в результате взаимодействия их с атомарным кислородом газовой среды дугового промежутка:  $\text{C} + \text{O} \rightarrow \text{CO}$ ,  $\text{Mn} + \text{O} \rightarrow \text{MnO}$ ,  $\text{Si} + 2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2$ .

В сварочной ванне элементы окисляются при взаимодействии их с оксидом железа



Окисление этих элементов приводит к уменьшению их содержания в металле шва. Кроме того, образующиеся оксиды могут оставаться в шве в виде различных включений, значительно снижающих механические свойства сварных соединений, особенно пластичность и ударную вязкость металла шва. Повышенное содержание кислорода вредно аствует и на другие свойства – уменьшает стойкость против коррозии, повышает склонность к старению металла, сообщает ему хладноломкость и красноломкость. Поэтому одним из условий получения качественного металла шва является предупреждение окисления его в первую очередь путем создания различных защитных сред.

**Раскисление металла при сварке.** Применяемые при сварке защитные меры не всегда обеспечивают отсутствие окисления расплавленного металла. Поэтому его требуется раскислить. **Раскислением** называют процесс восстановления железа из его оксида и перевод кислорода в форму нерастворимых соединений с последующим удалением их в шлак. Окисление и раскисление, в сущности, представляют два направления протекания одного и того же химического процесса. В общем случае реакция раскисления имеет вид  $\text{FeO} + \text{Me} \leftrightarrow \text{Fe} + \text{MeO}$ , где Me – раскислитель.

Раскислителем является элемент, обладающий в условиях сварки большим сродством к кислороду, чем железо. В качестве раскислителей применяют кремний, марганец, титан, алюминий, углерод. Раскислители вводят в сварочную ванну через электродную проволоку, покрытия электродов и флюсы. Ниже приведены наиболее типичные реакции раскисления.

*Раскисление марганцем:*  $\text{Fe} + \text{Mn} \leftrightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$ .

Оксид марганца малорастворим в железе, но сам хорошо астворяет оксид железа FeO, увлекая его за собой в шлак.

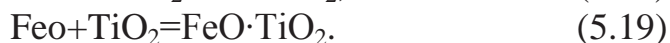
*Раскисление кремнием:*  $2\text{FeO} + \text{Si} \leftrightarrow 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$ .

Оксид кремния плохо растворим в железе и всплывает в шлак. Раскисление кремнием сопровождается реакциями образования более легкоплавких комплексных силикатов марганца, кремния и железа, которые лучше переходят в шлак



*Раскисление титаном:*  $2\text{FeO} + \text{Ti} = 2\text{Fe} + \text{TiO}$ . (5.17)

Титан – энергичный раскислитель, при этом образуются легкоплавкие титанаты марганца и железа



Марганец, кремний и титан вводят в сварочную ванну через электродную проволоку, легируя ее через покрытие электрода или флюс, вводя соответствующие ферросплавы.

*Раскисление углеродом:*  $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$ . (5.20)

Образующийся оксид углерода выделяется в атмосферу в газообразном состоянии, вызывая сильное кипение сварочной ванны и образуя поры в шве. Для получения плотных швов реакцию раскисления углеродом следует «подавить» введением в сварочную ванну других раскислителей, например кремния.

**Легирование металла шва.** Осуществляется различными полезными примесями для улучшения качества металла шва, путем введения полезных элементов в электродные стержни или проволоку, а также в состав электродного покрытия. Такие элементы, как кобальт, никель и др., полностью усваиваются наплавленным металлом. Элементы Mn и Si, участвующие в раскислении, при их достаточной концентрации в шлаке и электродном металле также частично усваиваются, переходя в сварной шов.

**Взаимодействие с азотом.** Азот воздуха, попадая в столб дуги, разогревается и частично диссоциирует. В атомарном состоянии азот растворяется в жидком металле. В процессе охлаждения азот выпадает из раствора и взаимодействует с металлом, образуя ряд соединений – нитридов  $\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$ . Атомарный азот может соединяться и с кислородом, образуя оксид азота NO, который, растворяясь в каплях электродного металла, переходит в сварочную ванну. Содержание азота в металле шва вредно влияет на его механические свойства, особенно пластичность. Кроме того, насыщение металла азотом способствует образованию газовых пор. Снижение азота проводят для защиты расплавленного

металла от воздуха или введения в него химических элементов, удаляющих азот в виде неметаллических включений.

**Взаимодействие с водородом.** Водород может попасть в зону сварки из влаги покрытия электрода или флюса, ржавчины на поверхности сварочной проволоки и детали, из воздуха. Атомарный водород хорошо растворяется в жидком металле, и с увеличением температуры нагрева растворимость увеличивается. Важной закономерностью в поведении газов является скачкообразное изменение их растворимости в металле при фазовых изменениях его и особенно при переходе из жидкого состояния в твердое (рис. 5.1).

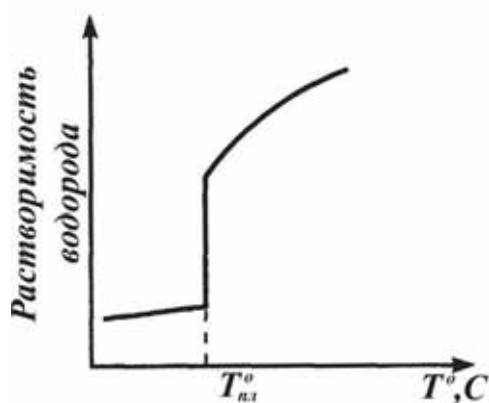
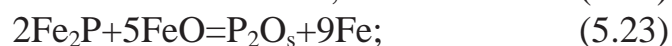


Рис. 5.1. Растворимость водорода в свариваемом металле

При охлаждении и кристаллизации сварочной ванны выделяющийся водород не успевает полностью удаляться из металла шва. Это приводит к образованию в нем газовых пор. Кроме того, атомы водорода, диффундируя в имеющиеся полости и несплошности в затвердевающем металле, приводят к повышению в них давления, развитию в металле внутренних напряжений и образованию микротрещин. Снижение газонасыщения швов проводят за счет качественной защиты расплавленного металла при сварке очисткой и прокалкой свариваемого и сварочных материалов.

**Реакции с серой и фосфором.** Сера и фосфор являются вредными примесями в сталях. В сварочную ванну они попадают из основного металла, сварочной проволоки и иногда из покрытия электродов или флюса. В металле сера и фосфор могут находиться в виде соединений — сульфидов и фосфидов, хорошо растворимых в железе. Наличие в металле шва серы и фосфора снижает его механические свойства, сильно повышает склонность к образованию трещин и снижает ударную вязкость. Поэтому **рафинирование**, очистка металла от серы и фосфора имеет целью уменьшение общего содержания FeS и FeP.

Рафинирование осуществляют путем связывания серы и фосфора в химические соединения, нерастворимые в стали и удаляемые в шлак, по реакциям:



При этом  $\text{MnS}$ ,  $\text{CaS}$  и  $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$  переходят в шлак. Следует контролировать состав применяемых для сварки материалов (металла, покрытия, флюса) и не допускать содержания в них серы и фосфора выше норм.

### 5.3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

Сварной шов при дуговой сварке формируется путем кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны. **Кристаллизацией** называют процесс образования кристаллов металла из расплава при переходе его из жидкого в твердое состояние. Образующиеся при этом кристаллы металла принято называть кристаллитами.

Сварочная ванна условно может быть разделена на две области: переднюю (головную) и заднюю (хвостовую). В передней части горит дуга и происходит нагревание и расплавление металла, а в хвостовой – охлаждение и кристаллизация расплава. В процессе образования шва различают первичную и вторичную кристаллизации. **Первичной кристаллизацией** называют непосредственный переход металла из жидкого состояния в твердое с образованием первичных кристаллитов (зерен). Она происходит при высоких скоростях охлаждения и затвердевания. Теплота отводится в основной металл, окружающий сварочную ванну. В общем виде процесс кристаллизации состоит из двух стадий: образования центров кристаллизации (зародышей) и роста кристаллов от этих центров. При первичной кристаллизации металла шва в качестве центров кристаллизации являются поверхности оплавленных зерен основного металла, окружающих сварочную ванну. При этом между основным металлом и металлом шва возникают общие зерна. Условную поверхность раздела между зернами основного металла и кристаллитами шва называют **зоной сплавления** при сварке.

В процессе затвердевания в расплаве могут появляться и новые центры кристаллизации – тугоплавкие частицы примесей, обломки зерен и т.п.

При многослойной сварке центрами кристаллизации являются поверхности выросших кристаллитов предыдущего слоя. Рост кристаллитов происходит в результате присоединения к их поверхности отдельных атомов из окружающего расплава. В зависимости от формы и расположения кристаллитов в строении затвердевшего металла шва различают столбчатую и зернистую структуру. При столбчатой структуре кристаллиты имеют определенную ориентированность – вытянуты в одном направлении, противоположном направлению теплоотвода. В свою очередь, столбчатые кристаллиты сами могут иметь ячеистое, ячеисто-дендритное или дендритное строение. При ячеистом строении столбчатый кристаллит растет от поверхности общего центра в виде пачки тонких кристаллов, расположенных в пределах одного зерна и ориентированных в одном направлении. Это наблюдается при высокой скорости отвода теплоты. По мере снижения скорости теплоотвода характер строения его изменяется, переходя к ячеисто-дендритной и дендритной форме. При дендритном строении в кристаллите, помимо осей первого порядка, получают развитие и оси второго и третьего порядков.

При зернистой структуре металла шва кристаллиты не имеют определенной ориентировки, а по форме напоминают многогранники. Такая структура обычно характерна для основного металла, а также может встречаться в швах с большим объемом сварочной ванны и при малых скоростях охлаждения расплава. Поэтому за кристаллизовавшийся металл шва в большинстве случаев имеет столбчатое строение. В зависимости от условий сварки размеры столбчатых кристаллитов изменяются в широких пределах. При дуговой сварке их размер в поперечном сечении обычно порядка 0,3–3,0 мм.

Первичная кристаллизация металла сварочной ванны носит прерывистый характер. После начала кристаллизации через некоторое время происходит задержка в росте кристаллитов в связи с выделением скрытой теплоты плавления металла. По мере отвода теплоты процесс роста вновь убыстряется до следующей задержки. Так повторяется до полного затвердевания всей ванны. В результате этого сварные швы имеют характерное слоистое строение (рис. 5.2).

Толщина кристаллизационных слоев измеряется в пределах от десятых долей до нескольких миллиметров в зависимости от объема ванны и условий теплоотвода.

Столбчатые кристаллиты каждого последующего слоя являются продолжением кристаллитов предыдущего слоя. В итоге образующиеся кристаллиты как бы прорастают из слоя в слой.

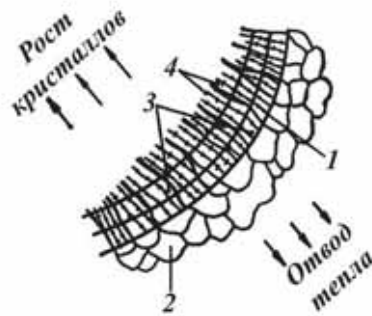


Рис. 5.2. Схема кристаллизации расплава в сварочной ванне: 1 – зона сплавления; 2 – зерна основного металла; 3 – кристаллизационные слои; 4 – растущие кристаллы

Характер получаемой структуры и расположения кристаллитов в металле шва во многом определяются формой сварочной ванны и схемой ее кристаллизации. Кристаллиты растут перпендикулярно границе сплавления в направлении, противоположном отводу теплоты. При кристаллизации сварочной ванны с узким, глубоким проплавлением кристаллиты растут от противоположных стенок навстречу друг другу. При этом перед фронтом кристаллизации накапливаются различного рода примеси. В результате по оси шва, в месте стыка вершин кристаллитов, растущих с противоположных сторон ванны, образуется область ослабления, в которой могут располагаться разные включения (рис. 5.3, а).



Рис. 5.3. Схема кристаллизации расплава в зависимости от формы сварочной ванны: а – узкая сварочная ванна с глубоким проплавлением; б – широкая сварочная ванна

При затвердевании широкой сварочной ванны с небольшим проплавлением схема кристаллизации существенно отличается – кристаллиты соприкасаются не вершинами, а боковыми гранями, а примеси, концентрирующиеся перед фронтом кристаллизации, вытесняются на поверхность шва в виде шлаков. Такие швы более устойчивы против образования трещин (рис. 5.3, б).

В процессе кристаллизации состав жидкого металла ванны непрерывно изменяется. Поэтому одновременно с кристаллизацией в нем развиваются диффузионные процессы, стремящиеся к однородному составу.

ву металла как внутри кристаллитов, так и между затвердевшими кристаллитами и еще оставшимся жидким расплавом. Однако из-за различия скоростей роста кристаллитов и процессов диффузии, являющихся более медленными, полного выравнивания состава не происходит. Это приводит к возникновению неравномерности в распределении элементов сплава свариваемого шва – химической неоднородности металла шва. Различают макроскопическую и микроскопическую неоднородность. Первый вид характеризуется неравномерностью состава в отдельных областях металла по сечению шва (зональная ликвация). При микроскопической неоднородности наблюдается неравномерность состава металла в пределах отдельных кристаллитов (микроскопическая ликвация). За счет ликвации создается химическая неоднородность металла шва. Преимущественное развитие в сварных швах обычно имеет внутريدендритная неоднородность. Интенсивность проявления ликвационных процессов зависит от условий сварки. Чем больше скорость затвердевания металла, тем в меньшей степени проявляется ликвация. Вид и степень химической неоднородности оказывают существенное влияние на свойства металла шва, стойкость его против образования трещин и др.

Изучение и анализ строения металла шва проводят путем выявления его кристаллического строения на специально подготовленных шлифах поперечных и продольных сечений. При этом различают понятия «макроструктура» и «микроструктура». **Макроструктурой** называют строение металла шва, выявляемое при осмотре невооруженным глазом или при небольших увеличениях с помощью луп или бинокулярных микроскопов. При этом удается выявлять общий характер строения металла (столбчатое, зернистое), форму провара, наличие дефектов (поры, трещины, включения и т.п.). **Микроструктура** металла шва характеризует его тонкое строение, выявляемое на шлифах с помощью металлографических микроскопов с высокой степенью увеличения (строение кристаллитов, наличие внутريدендритной ликвации, микродефектов).

#### **5.4. ОБРАЗОВАНИЕ ТРЕЩИН И ГАЗОВЫХ ПОР В МЕТАЛЛЕ ШВА**

В процессе кристаллизации сварочной ванны в металле шва возможно образование трещин. По расположению относительно оси шва они могут быть продольными и поперечными, в зависимости от величины – микро- и макроскопическими (первые из них обнаруживаются с помощью микроскопа, а вторые – невооруженным глазом); в зависимости от температур, при которых они образуются, трещины разделяют на



две группы: горячие (высокотемпературные) и холодные (низкотемпературные). Механизм их возникновения различен.

**Горячие трещины** представляют собой хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в процессе кристаллизации в твердо-жидком состоянии, а также при высоких температурах в твердом состоянии. Трещины, как правило, располагаются по границам кристаллитов и вызывают межкристаллическое разрушение. Объясняется это тем, что при затвердевании металла шва в процессе первичной кристаллизации между кристаллитами располагаются жидкие прослойки, имеющие небольшую температуру плавления. Если возникающие в это время в металле растягивающие внутренние напряжения (вследствие линейной усадки при охлаждении) будут достаточно велики, то по этим прослойкам произойдет разрушение с образованием трещины. Если же процесс полного затвердевания расплава заканчивается до появления больших растягивающих напряжений, то горячие трещины не образуются. Образованию горячих трещин способствует содержание в металле шва примесей – серы, фосфора и др. Так, сера образует легкоплавкий сульфид железа FeS, располагающийся при кристаллизации по границам зерен и увеличивающий вероятность образования трещин. На образовании трещин сказывается также форма и схема кристаллизации сварочной ванны. Узкие швы с глубоким проплавлением более склонны к образованию трещин, чем широкие швы с небольшим проплавлением. Для уменьшения опасности образования горячих трещин применяют следующие меры: используют сварочные материалы с минимальным содержанием серы, углерода, фосфора; повышают в металле шва содержание марганца, который связывает серу в более тугоплавкое соединение – сульфид марганца; проводят рафинирование (очистку) расплава ванны от серы с помощью введения компонентов, содержащих кальций.

**Холодные трещины** в структуре металла располагаются как по границам, так и по телу зерен. Поэтому они представляют собой внутрикристаллические разрушения. Холодные трещины в сварных соединениях образуются при температурах 200–300 °С. Чаще всего они образуются в швах при сварке закаливающихся сталей. На склонность металла к образованию холодных трещин оказывает влияние повышенное содержание углерода и элементов, облегчающих закалку, наличие в шве водорода, загрязнение фосфором, быстрое охлаждение и наличие в швах внутренних напряжений. С целью уменьшения склонности металла к образованию холодных трещин применяют следующие меры: используют материалы с минимальным содержанием фосфора, уменьша-

ют насыщение сварочной ванны водородом и азотом, принимают меры для уменьшения внутренних напряжений.

*Поры* в сварных швах возникают при первичной кристаллизации металла сварочной ванны в результате выделения газов. Поры представляют собой полости в швах, заполненные газом, имеющие сферическую, вытянутую или более сложные формы. Поры могут располагаться по оси шва, его сечению или вблизи границы сплавления. Они могут быть скрытыми в металле или выходить на поверхность, располагаться цепочками, отдельными группами или одиночно, могут быть микроскопическими и крупными (до 4–6 мм в диаметре). Поры при сварке в основном возникают за счет газов водорода, азота и оксида углерода, образующихся в результате химических реакций с выделением газовых продуктов, выделения газов в связи с разной растворимостью их в жидком и твердом металле, захватом газа из окружающей среды при кристаллизации сварочной ванны.

Для уменьшения пористости необходимы **тщательная подготовка** поверхности основного и присадочного металлов под сварку (очистка от ржавчины, масла, влаги, прокатка и т.д.), надежная **защита** зоны сварки от воздуха, **введение** в сварочную ванну элементов-раскислителей (из основного металла, сварочной проволоки, покрытия, флюса), **стабильное соблюдение** режимов сварки.

### 5.5. СТРУКТУРА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Сварное соединение (рис. 5.4) при сварке плавлением включает в себя сварной шов 1, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны, зону сплавления 2 и зону термического влияния 3, представляющую часть основного металла, непосредственно примыкающую к сварному шву и подвергающуюся тепловому воздействию при сварке, вызывающему изменение структуры и свойств.

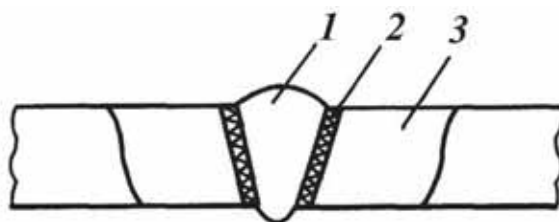


Рис. 5.4. Схема строения сварного соединения: 1 – сварной шов; 2 – зона сплавления; 3 – зона термического влияния

Металл в любой зоне сварного соединения испытывает нагрев и охлаждение. Изменение температуры металла во времени называют **термическим циклом** сварки. Максимальная температура нагрева в

разных участках соединения различна. Сварной шов образуется в результате расплавления основного и электродного металлов, а потому после затвердевания он имеет структуру литого металла с вытянутыми столбчатыми кристаллитами. В зоне термического влияния изменение нагрева происходит от температуры плавления на границе со швом до комнатной температуры. При этом в металле могут происходить различные структурные и фазовые превращения, приводящие к появлению участков металла, различающихся по структуре.

При сварке низкоуглеродистых сталей в ней отмечают участки (рис. 5.5) неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и синеломкости.

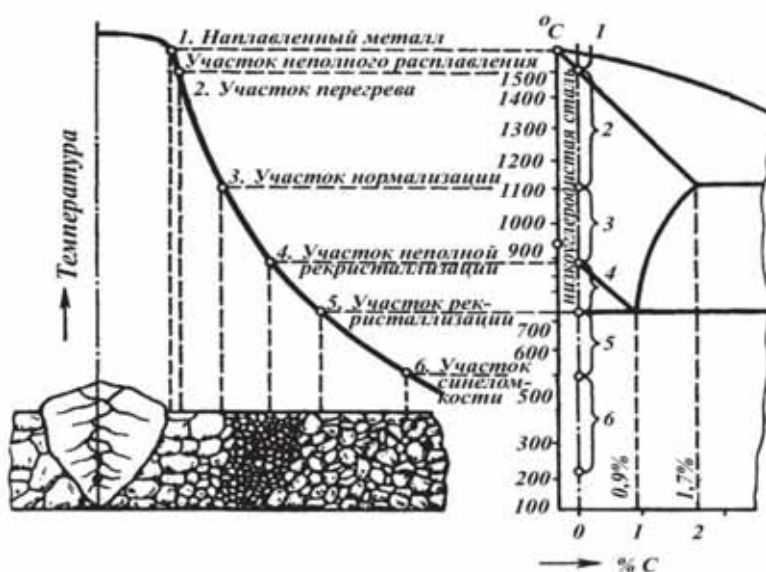


Рис. 5.5. Структура металла в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали

Участок неполного расплавления примыкает непосредственно к сварному шву и является переходным от литого металла шва к основному. На этом участке происходит образование соединения и проходит граница сплавления. Он представляет собой узкую область (0,1–0,4 мм) основного металла, нагревавшегося до частичного оплавления зерен. Участок перегрева – область основного металла, нагреваемого до температур 1100–1450 °С, в связи с чем металл его отличается крупнозернистой структурой и пониженными механическими свойствами и тем заметнее, чем крупнее зерно и шире зона перегрева. Участок нормализации (перекристаллизации) охватывает область основного металла, нагреваемого до температуры 900–1100 °С. Металл этого участка обладает высокими механическими свойствами, так как при нагреве и охлажде-

нии на этом участке образуется мелкозернистая структура в результате перекристаллизации без перегрева.

Участок **неполной перекристаллизации** нагревается в пределах температур 725–900 °С. В связи с неполной перекристаллизацией, вызванной недостаточным временем и температурой нагрева, структура металла состоит из смеси мелких перекристаллизовавшихся зерен и крупных зерен, которые не успели перекристаллизоваться. Свойства его более низкие, чем у металла предыдущего участка.

Участок **рекристаллизации** наблюдается при сварке сталей, подвергавшихся холодной деформации (прокатке, ковке, штамповке). При нагреве до температуры 450–725 °С в этой области основного металла развивается процесс рекристаллизации, приводящий к росту зерна, огрублению структуры, к разупрочнению металла.

Участок, нагреваемый в области температур 200–450 °С, является переходным от зоны термического влияния к основному металлу. В этой области могут протекать процессы старения металла в связи с выпадением карбидов и нитридов железа. Понижается пластичность и вязкость металла. По структуре этот участок практически не отличается от основного металла. Таким образом, сварное соединение характеризуется неоднородностью свойств. Ширина околошовной зоны зависит от толщины металла, вида и режима сварки. Например, при ручной дуговой сварке она составляет обычно 5–6 мм.

## ВОПРОСЫ

1. Что понимают под термином «металлургические процессы при сварке»?
2. Какие особенности протекания металлургических процессов при сварке можно отметить?
3. Какие физико-химические процессы наблюдаются при сварке и их реакции?
4. В чем заключаются процессы окисления и раскисления при сварке? Их влияние на свойства металла швов.
5. Назовите особенности кристаллизации металла сварочной ванны.
6. Какие неблагоприятные последствия окисления металла при сварке?
7. Назовите основные раскислители, применяемые в сварочных ваннах.
8. Почему могут образовываться трещины и поры в металле шва?
9. В чем вред примесей серы и фосфора при сварке сталей?

## ГЛАВА 6. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ

### 6.1. ПОНЯТИЯ О НАПРЯЖЕНИЯХ И ДЕФОРМАЦИЯХ

Любое силовое воздействие на тело сопровождается возникновением в нем напряжений и развитием деформаций.

**Напряжением** называют силу, отнесенную к единице площади сечения тела:

$$a = P / F, \quad (6.1)$$

где  $a$  – напряжение, МПа;  $P$  – действующее усилие, Н;  $F$  – площадь поперечного сечения детали, м<sup>2</sup>.

В зависимости от характера приложенных сил различают напряжения растяжения, сжатия, изгиба, кручения и среза. **Деформацией** называют изменение размеров или формы тела под действием приложенных к нему сил. Деформации могут быть упругими и пластическими. Если размеры и форма тела восстанавливаются после прекращения силового воздействия, то такая деформация является упругой. Деформацию, остающуюся после снятия нагрузки, называют **пластической** или **остаточной**.

Помимо напряжений и деформаций, возникающих в деталях под действием приложенных нагрузок, в них могут быть так называемые собственные напряжения и деформации, существующие в телах при отсутствии внешних сил. К ним относятся и сварочные напряжения, и деформации, наблюдаемые в свариваемых деталях. В зависимости от продолжительности существования их разделяют на временные, существующие в период выполнения сварки, и на остаточные, устойчиво сохраняющиеся в течение длительного времени после сварки. В зависимости от характера и объемов распределения напряжения различают одноосные (линейные), двuosные (плоскостные) и трехосные (объемные), а также напряжения I рода (в макрообъемах тела), II рода (в пределах кристаллических зерен металла) и III рода (в пределах кристаллической решетки).

Сварочные деформации обычно характеризуют прогибами элементов, углами поворота, укорочениями, величинами выхода точек тела из плоскости равновесия и др. (рис. 6.1).

Деформации, приводящие к изменению размеров всего изделия, искривлению его геометрических осей, называют общими. А деформации, относящиеся к отдельным участкам его, называют **местными**.

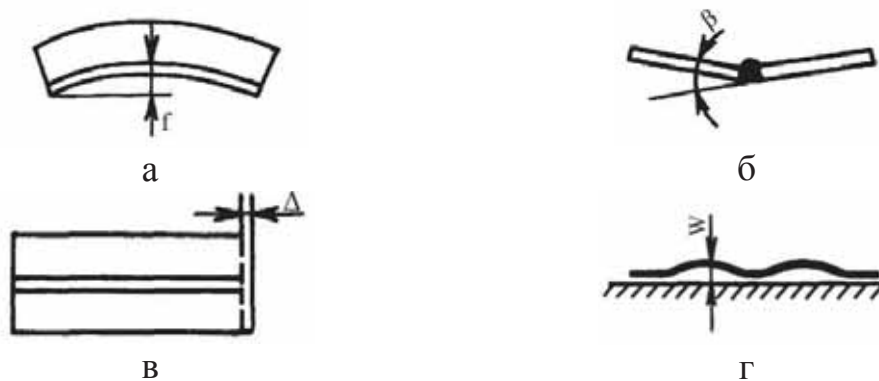


Рис. 6.1. Виды перемещений при деформации сварных конструкций:  
*a* – прогиб; *б* – угол поворота  $\beta$ ; *в* – укорочение  $\Delta$ ;  
*г* – выход из плоскости равновесия  $W$

## 6.2. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СВАРКЕ

Основными причинами возникновения собственных напряжений и деформаций в сварных соединениях и конструкциях являются неравномерное нагревание металла при сварке, литейная усадка, структурные и фазовые превращения в затвердевающем металле при охлаждении.

**Неравномерное нагревание металла.** Все металлы при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Процессы сварки плавлением характеризуются местным нагревом металла с образованием неравномерного температурного поля в сварном соединении. При наличии непрерывной связи между нагретыми и холодными участками металла свариваемой детали в нем возникают сжимающие и растягивающие внутренние напряжения. Механизм образования их рассмотрим на примерах. Представим себе металлический стержень, свободно лежащий на сварочном столе. При местном нагреве в центральной части его длина  $L$  увеличится на  $\Delta L$  (рис. 6.2, *a*). Это будет зависеть от коэффициента линейного расширения данного металла, длины нагретой зоны и температуры ее нагрева. В процессе охлаждения удлинение будет уменьшаться и при достижении начальной температуры станет равным нулю. После полного охлаждения стержень восстанавливает первоначальные размеры и в нем не будет ни внутренних напряжений, ни остаточных деформаций.

При местном нагреве того же стержня, жестко закрепленного с обоих концов (рис. 6.2, *б*), возможность свободного удлинения его исключается. Поэтому в нем возникают сжимающие внутренние напряжения, при определенных значениях которых произойдет пластическая деформация сжатия и на длине  $L^1$  (нагретой зоны) он станет толще. При этом напряжения частично исчезнут. При последующем охлажде-

нии стержень должен бы укоротиться, но этому препятствует жесткое закрепление его, в результате чего в нем возникают растягивающие напряжения.

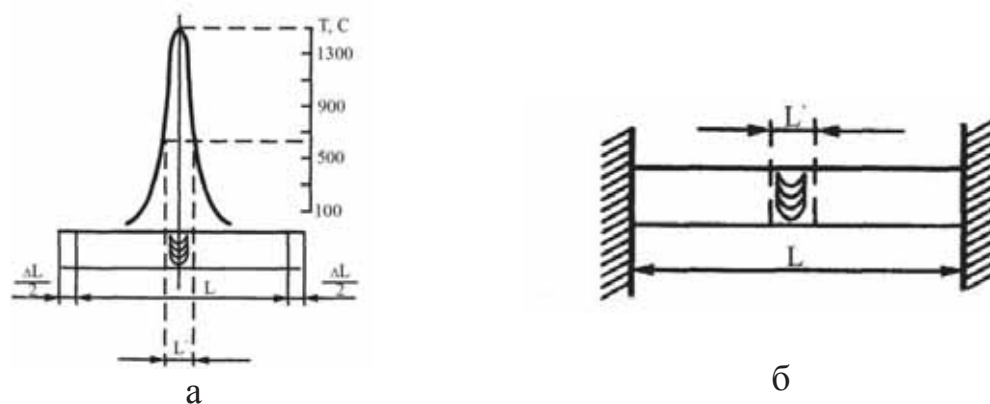


Рис. 6.2. Местный нагрев стержня: а – незакрепленного; б – с жестким закреплением

Аналогичным образом возникают внутренние напряжения и деформации при наплавке валика на кромку металлической пластины (рис. 6.3, а).

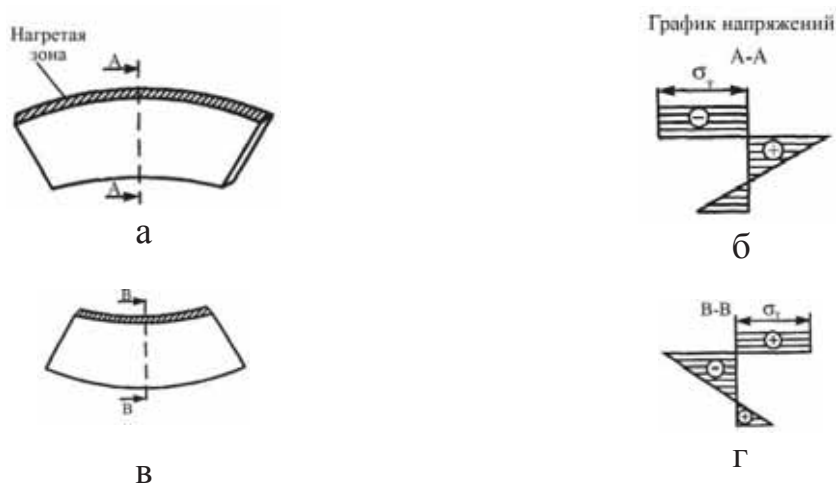


Рис. 6.3. Напряжения и деформации при наплавке валика на кромку полосы

Наплавленный валик и нагретая часть пластины будут расширяться и растягивать холодную часть, вызывая в ней деформацию растяжения с изгибом. Сам же валик и нагретая часть пластины будут сжаты, поскольку их тепловому расширению препятствует ее холодная часть. Характер распределения напряжений показан на рисунке 6.3, б. Растягивающие напряжения принято обозначать знаком «+», а сжимающие – знаком «-». В результате такого распределения напряжений пластина прогнется выпуклостью вверх. В процессе остывания наплавленный ва-

лик и нагретая часть полосы, претерпев пластическую деформацию, будут укорачиваться. Этому укорочению вновь будут препятствовать слои холодной части металла пластины. Теперь уже наплавленный металл и нагревшаяся часть пластины будут стягивать участки холодного металла. Они сожмутся, и пластина прогнется выпуклостью вниз (рис. 6.3, в), а остаточные напряжения в ней распределятся, как показано на рисунке 6.3, г. В реальных условиях изменение температуры от нагретой к холодной зоне пластины происходит постепенно, поэтому таким же образом происходит и распределение напряжений.

**Литейная усадка наплавленного металла.** При охлаждении и затвердевании жидкого металла сварочной ванны происходит его усадка. Явление усадки объясняется тем, что при затвердевании увеличивается плотность металла, в результате чего объем его уменьшается. Поскольку металл шва неразрывно связан с основным металлом, остающимся в неизменном объеме и противодействующим этой усадке, в сварном соединении возникают внутренние напряжения. При сварке происходит продольная и поперечная усадка расплавленного металла, в результате чего в шве образуются продольные и поперечные внутренние напряжения, вызывающие деформации сварных соединений. За счет продольной усадки возникает деформация изделий в продольном направлении относительно оси шва, а поперечная, как правило, вызывает угловые деформации в сварном соединении.

**Напряжения от структурных превращений в металле.** Наряду с термическими напряжениями при сварке могут возникнуть напряжения, обусловленные превращениями и изменениями структуры основного металла, нагретшегося выше критических температур. При сварке изделий из углеродистых и высоколегированных сталей особенно легко могут возникнуть напряжения при образовании мартенсита, обладающего наибольшим удельным объемом. При сварке низкоуглеродистой стали в интервале критических температур  $A_{C1}$  и  $A_{C3}$ , в связи с тем что коэффициент линейного расширения для  $\gamma$ -железа составляет  $1,2 \cdot 10^{-5}$ , а для  $\alpha$ -железа –  $2 \cdot 10^{-5}$ , наблюдается уменьшение объема при нагревании от  $A_{C1}$  до  $A_{C3}$ . При охлаждении распад аустенита происходит в интервале  $A_{C2}$ – $A_{C1}$ , когда сталь пластична и изменение объема происходит без образования напряжений. Иная картина наблюдается у легированных сталей, склонных к закалке. Распад аустенита в них происходит при более низких температурах (200–300 °С), когда металл обладает высокой прочностью и меньшей пластичностью. Такое превращение сопровождается возникновением структурных напряжений. Растягивающие напряжения от структурных превращений вызывают дополнительное увеличение деформаций, которые в межпластичных сплавах могут привести к обра-



зованию трещин. Поэтому сварочные напряжения в закаливаемых сталях более опасны. Для сварки таких материалов необходимо разрабатывать более сложный технологический процесс.

### **6.3. МЕРЫ БОРЬБЫ С ДЕФОРМАЦИЯМИ**

#### **До сварки:**

- *рациональное конструирование сварных изделий:* в процессе конструирования необходимо ограничивать количество наплавленного металла уменьшением угла скоса кромок или уменьшения катетов швов, не допускать пересечения большого количества швов, не располагать сварные швы там, где действуют максимальные напряжения от внешних нагрузок, размещать их симметрично, применять, преимущественно, стыковые швы и т.п.;

- *правильная сборка деталей с учетом возможных деформаций:* заранее предугадать характер возможных напряжений и деформаций и произвести предварительный выгиб свариваемых деталей в противоположную сторону. При сборке следует избегать прихваток, которые создают жесткое закрепление деталей и способствуют возникновению значительных остаточных напряжений. Лучше применять сборочные приспособления, допускающие некоторое перемещение деталей при усадке металла.

#### **В процессе сварки:**

- *рациональная последовательность наложения сварных швов:* конструкции следует сваривать так, чтобы замыкающие швы, создающие жесткий контур, заваривались в последнюю очередь. Сварку нужно вести от середины конструкции к ее краям, как бы сгоняя при этом внутренние напряжения наружу. Каждый последующий шов при многослойной сварке рекомендуется накладывать в направлении, обратном наложению предыдущего шва;

- *уравновешивание деформаций:* назначают такую последовательность выполнения швов, при которой последующий шов должен вызывать деформации обратного направления по сравнению с деформациями от предыдущего шва;

- *жесткое закрепление деталей при сварке:* детали закрепляют в сборочно-сварочных приспособлениях, обладающих значительной жесткостью.

#### **После сварки:**

- *механическая правка:* при помощи молотов, домкратов, винтовых прессов или других устройств создается ударная или статическая на-

грузка, которая обычно прилагается со стороны наибольшего выгиба изделия;

- *термическая правка*: местный нагрев небольших участков металла деформированной конструкции. Нагрев, как правило, производят сварочными горелками большой мощности. Он ведется быстро и только до пластического состояния верхних волокон на выпуклой стороне изделия. При охлаждении нагретых участков последние сжимаются и выпрямляют изделие;

- *термомеханическая правка*: данный способ состоит в сочетании местного нагрева с приложением статической нагрузки, изгибающей исправляемый элемент конструкции в нужном направлении. Такой способ обычно применяется для правки жестких сварных узлов.

### ВОПРОСЫ

1. Каковы различия в понятиях «напряжение» и «деформация»?
2. Каков механизм образования напряжений и деформаций в процессе сварки?
3. Какие основные параметры режима влияют на величину сварочных напряжений?
4. Как классифицируют напряжения и деформации в процессе сварки?
5. Каким образом снижают деформации в процессе сварки?
6. Какими способами устраняют напряжения и деформации конструкций после сварки?
7. Каким образом можно уменьшить деформации за счет изменения условий сварки?
8. Как влияет погонная энергия на величину деформации?
9. Как предварительный подогрев влияет на образование напряжений и деформации?
10. Какие виды термической обработки существуют для снятия напряжений в изделии?

## **ГЛАВА 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВАРИВАЕМОСТИ**

### **7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВАРИВАЕМОСТИ И ЕЕ ВИДЫ**

В настоящее время сварка как технологический процесс образования неразъемного соединения деталей находит применение для соединения не только металлов, но и ряда неметаллов (пластмасс, керамики стекла и т.д.), а также разнородных материалов (металл не металлом). Конечной задачей сварки является обеспечение таких связей между соединяемыми деталями, которые удовлетворяли бы требованиям эксплуатации изделия. Возможность получения указанных связей характеризуется свариваемостью. Это понятие охватывает собой совокупность свойств материалов, обеспечивающих образование соединения без применения специальных крепежных деталей (заклепок и др.).

Вопрос о свариваемости возник с появлением самого способа соединения деталей сваркой и его решению посвящено много работ, в которых дается определение понятию свариваемости, разрабатываются конкретные приемы сварки и т.д. Под свариваемостью понимают свойство твердых тел образовывать при определенном виде сварки неразъемное соединение, способное противостоять соразмерно с основным материалом заданному напряженному состоянию или химическому воздействию окружающей среды. Свариваемость следует рассматривать с двух точек зрения: физической и технологической.

Под физической (принципиальной) свариваемостью понимают способность данного материала (или разнородных материалов) давать неразъемное соединение путем установления внутренних связей между частицами (атомами, молекулами) соединяемых материалов вне зависимости от способа или технологии сварки, т.е. принципиальную возможность получения сварного соединения.

Под технологической свариваемостью понимают способность данного материала (или разнородных материалов) давать при выбранной технологии сварки неразъемное соединение, удовлетворяющее определенным требованиям. Свариваемость данного материала при различных способах сварки может быть различной.

Технологическая свариваемость металлов и их сплавов зависит от многих факторов – химической активности металлов, степени легирования, структуры и содержания примесей. Чем химически более активен металл, тем больше его склонность к взаимодействию с окружающей средой, в первую очередь к окислению, тем выше в этом случае должны быть качество защиты и возможность металлургической обработки при сварке. К наиболее активным металлам относят титан, цирконий,

ниобий, тантал, молибден. При их сварке необходимо защищать от взаимодействия с воздухом не только расплавленный металл, но и прилегающий к сварочной ванне основной металл и остывающий шов с наружной и обратной стороны. Наилучшее качество защиты обеспечивается высоким вакуумом и инертным газом высокой частоты. Высокой химической активностью при сварке отличаются и другие цветные металлы: алюминий, магний, медь, никель и сплавы на их основе. Качество защиты обеспечивается инертными газами, а также специальными электродными покрытиями и флюсами.

При сварке сталей и сплавов на основе железа от взаимодействия с воздухом расплавленный металл защищают покрытиями, флюсами и защитными газами.

Наибольшее влияние на свариваемость сталей оказывает углерод. С увеличением содержания углерода, а также ряда других легирующих элементов свариваемость сталей ухудшается. Для сварных конструкций в основном применяют конструкционные низкоуглеродистые, низколегированные, а также легированные стали. Главными трудностями при сварке этих деталей является склонность к горячим трещинам, чувствительность к закаливанию, и образованию холодных трещин обеспечение равнопрочности сварных соединений. Чем выше содержание углерода в стали, тем больше опасность трещинообразования, труднее обеспечить равномерность свойств сварного соединения. Ориентировочным количественным показателем свариваемости стали известного химического состава является эквивалентное содержание углерода, которое определяется по формуле

$$C_{\text{Э}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Ca}}{15}. \quad (7.1)$$

В ней содержание углерода и легирующих элементов берется в процентах. В зависимости от эквивалентного содержания углерода и связанной с этим склонности к закалке и образованию трещин стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо свариваемые стали (табл. 7.1).

Стали первой группы имеют  $C_{\text{Э}} \leq 0,25$  %, хорошо свариваются без образования закалочных структур и трещин в широком диапазоне режимов, толщин и конструктивных форм. Удовлетворительно свариваемые стали ( $C_{\text{Э}} = 0,25 \dots 0,35$  %) мало склонны к образованию холодных трещин при правильном выборе режимов сварки, в ряде случаев требуется подогрев. Ограниченно свариваемые стали ( $C_{\text{Э}} = 0,36 \dots 0,45$  %) склонны к трещинообразованию. Возможность регулирования сопротивляемости образованию трещин изменением режимов сварки ограничена, требуется подогрев. Плохо свариваемые стали ( $C_{\text{Э}} > 0,45$  %) весьма склонны к

закалке и трещинам, требуют при сварке подогрева, специальных технологических приемов сварки и термообработки.

Таблица 7.1

*Классификация сталей по свариваемости*

Группа свариваемости	Сталь	
	углеродистая	конструкционная легированная
Хорошая	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, 0,8, сталь 10,20, 12кп, 16кп, 20кп	15Г, 20Г, 15ХМ, 10ХСНД, 10ХГСНД, 15ХГСНД
Удовлетворительная	Ст5, сталь 30,35	12ХН2, 14Х2МР, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХМ
Ограниченная	Ст6, сталь 40,45,50	35Г, 40Г, 30ХГСА, 40ХМФА, 30ХГСМ
Плохая	Сталь 65,70,80, У7, У8, У9, У10	50Г, 8ХЗ, 45ХНЗМФА, 5ХНТ

Появление новых методов сварки расширяет перечень материалов, обладающих удовлетворительной или даже хорошей свариваемостью. В настоящее время практически нет ни одного металла или сплава, получившего применение в производстве, который не удалось бы сварить тем или иным способом. Очень ценным свойством материала является хорошая свариваемость несколькими различными видами сварки. К таким материалам относятся низкоуглеродистая сталь, технически чистый алюминий и другие. Отрицательное влияние на свариваемость могут оказать следующие явления:

1. Образование кристаллизационных (горячих) и закалочных (холодных) трещин.
2. Образование хрупких участков в металле шва и зоне термического влияния (структура закалки, выделение карбидов, ликвация, образование интерметаллических соединений и т.п.).
3. Окисление металла шва и другие процессы.

Для предупреждения или ослабления влияния этих явлений требуется применение специальных технологических мер (приемов), например: сварка с предварительным подогревом или последующей термообработкой, сварка с определенным порядком наложения швов и т.п. Поэтому иногда о технологической свариваемости судят по сложности технологических приемов, которые используют для получения удовлетворительных свойств сварных соединений. Причем, чем сложнее технологические приемы, тем худшей технологической свариваемостью обладает материал.

Хотя физико-химические процессы в зоне сварки могут протекать по-разному при различных способах сварки, в любом случае образова-

ния неразъемного соединения необходимо либо установить непосредственную связь между поверхностными атомами (молекулами) свариваемых деталей, либо соединить их промежуточной связью. Именно поэтому в зону сварки вводят энергию и вещество одновременно.

### **ВОПРОСЫ**

1. Что понимают под свариваемостью металлов?
2. Каковы способы оценки свариваемости металлов?
3. В чем различие между физической и технологической свариваемостью?
4. Как разделяют стали по свариваемости?
5. Как определить свариваемость по эквиваленту углерода?
6. Почему и как углерод влияет на свариваемость стали?
7. Какие условия могут повысить свариваемость углеродистой стали?

## ЧАСТЬ 2

### ГЛАВА 8. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

#### 8.1. ПРИСАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ

**Сварочными** называют материалы, обеспечивающие возможность протекания сварочных процессов и получение качественных сварных соединений. К ним относят присадочные металлы, покрытые электроды, флюсы, защитные газы и некоторые другие.

подавляющее большинство швов при сварке выполняют с применением присадочных материалов. Роль их заключается не только в получении необходимой геометрии шва, но и в обеспечении высоких эксплуатационных характеристик при минимальной склонности к образованию дефектов. В большинстве случаев состав присадочного металла мало отличается от химического состава свариваемого металла. Присадочные металлы разрабатывают применительно к конкретным группам свариваемых металлов и сплавов или даже к их отдельным маркам. При этом учитывают и методы сварки, определяющие потери отдельных элементов. Присадочный металл должен быть более чистым по примесям, содержать меньшие количества газов и шлаковых включений. Присадочные металлы используют в виде металлической проволоки сплошного сечения или порошковой проволоки (с порошковым сердечником). Применяют также прутки, пластины, ленты. К сварочной проволоке предъявляют высокие требования по состоянию поверхности, предельным отклонениям по диаметру, овальности и другим показателям.

Высокое качество сварочной проволоки и других присадочных металлов сохраняется при тщательной упаковке и консервации, а также правильном хранении и транспортировке. Наиболее часто сварочную проволоку поставляют в виде мотков, покрытых консервирующей смазкой. Поверхность мотка обертывают влагонепроницаемой бумагой, полимерной пленкой и т.п. Каждая партия проволоки должна снабжаться сертификатом завода-изготовителя, где указываются марка проволоки, ее химический состав, номер плавки и другие сведения. Присадочные материалы перед сваркой должны проходить тщательную очистку поверхности. Наличие следов смазки или других загрязнений не допускается. В большинстве случаев требуется и очистка от оксидов. Для удаления жировых загрязнений применяют обезжиривание. Оксидную пленку удаляют травлением, химическим и электрохимическим полированием. Для сварки необходимо применять преимущественно присадочные материалы, выпускаемые по специализированным стандартам или техниче-

ским условиям. Промышленность выпускает присадочные материалы для сварки сталей, чугуна, алюминия, меди, титана и их сплавов.

**Присадочные металлы для сварки и наплавки сталей.** Холоднотянутую стальную сварочную проволоку сплошного сечения выпускают по ГОСТ 2246-70, который предусматривает 77 марок разного химического состава, разделяющихся на три группы: низкоуглеродистые, легированные с содержанием легирующих элементов 2,5–10 %, высоколегированные с содержанием легирующих элементов более 10 %. Химический состав некоторых проволок приведен в таблице 8.1. Условные обозначения марок сварочной проволоки состоят из индекса С (сварочная) и следующих за ним цифр и букв. Цифры после индекса обозначают содержание углерода в сотых долях процента. Последующие буквы указывают на содержание в проволоке легирующих элементов, обозначаемых: алюминий – Ю, азот – А (только в высоколегированных сталях), бор – Р, ванадий – Ф, вольфрам – В, кремний – С, кобальт – К, марганец – Г, медь – Д, молибден – М, никель – Н, ниобий – Б, титан – Т, хром – Х, цирконий – Ц. Цифры после букв указывают среднее содержание элемента в процентах (отсутствие цифры означает содержание данного элемента менее 1 %). Буква А в конце обозначений низкоуглеродистых и легированных проволок указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора. В проволоке Св-08АА сдвоенная А указывает на пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой Св-08А.

Проволоку различают также по назначению: для сварки (наплавки) и для изготовления электродов (условное обозначение – Э). Низкоуглеродистую и легированную проволоку выпускают неомедненной и омедненной (условное обозначение – О) для предохранения ее поверхности от коррозии.

Пример условного обозначения сварочной проволоки диаметром 3 мм, марки Св-08А с омедненной поверхностью – проволока 3Св-08А-0 ГОСТ 2246-70.

Стальную сварочную проволоку по ГОСТ 2246-70 выпускают следующих диаметров (мм): 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и 12,0. Проволока поставляется свернутой в мотки с внутренним диаметром 150–750 мм, массой от 1,5 до 40 кг, а также намотанной на катушки и кассеты (для автоматической и механизированной сварки).

Стальная наплавочная проволока по ГОСТ 10543-75 изготавливается диаметром от 0,3 до 8,0 мм: из углеродистой стали – 9 марок (Нп-25, Нп-30 и т.д.), из легированной стали – 11 марок (Нп-10Г, Нп-50Г,



Нп-30ХГСА и др.), из высоколегированной стали – 11 марок (Нп-2014, Нп-30Х10Г10Т и др.).

Проволока используется для наплавки под флюсом, в защитных газах, при электрошлаковой наплавке и для изготовления покрытых электродов. Марку проволоки выбирают в зависимости от назначения и требуемой твердости металла наплавленного слоя. Используемая для наплавки обрезаемая холоднокатаная лента в большинстве случаев имеет толщину от 0,4 до 1,0 мм при ширине от 20 до 100 мм. Ленту поставляют в рулонах.

Порошковая проволока представляет собой трубчатую (часто со сложным внутренним сечением) проволоку, заполненную порошкообразным наполнителем – шихтой. Оболочку порошковой проволоки изготавливают из стальной (чаще низкоуглеродистой) ленты толщиной 0,2–0,5 мм. Наполнитель представляет собой смесь порошков из газо- и шлакообразующих компонентов, а также легирующих компонентов, обеспечивающих защиту зоны сварки и требуемые свойства сварного шва. Наиболее широко используют порошковую проволоку диаметром от 2,6 до 3,0 мм. В зависимости от состава шихты порошковую проволоку можно использовать для механизированной сварки сталей и чугуна как без защиты, так и с дополнительной защитой (флюсом, защитным газом) от воздуха. Для сварки углеродистых и легированных сталей применяют порошковые проволоки: ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН6 и т.д. – при сварке открытой дугой; ПП-АН4, ПП-АН5, ПП-АН8, ПП-АН9 – при сварке в углекислом газе. Преимуществом порошковой проволоки является возможность за счет наполнителя в широких пределах регулировать химический состав шва, что используется при наплавке. Ими можно наплавлять изделия под флюсом, в защитных газах и открытой дугой. Разработаны порошковые проволоки: ПП-АН120, ПП-АН121, ПП-АН122 – для наплавки под флюсом деталей машин из углеродистых сталей; ПП-АН105 – для наплавки высокомарганцовистых сталей; ПП-АН170 – для наплавки высокохромистых сталей; порошковые ленты ПЛ-АН101, ПЛ-АН102 и др. Спеченную ленту толщиной 0,8–1,2 мм и шириной 30–80 мм на железной основе изготавливают методом порошковой металлургии из смеси металлических порошков, ферросплавов, графита и других материалов. При дуговой наплавке порошковыми проволоками и лентами применяют меньшие плотности тока по сравнению с электродами сплошного сечения, что обеспечивает меньшую глубину проплавления и меньшую степень разбавления наплавленного металла основным металлом.

Для наплавки используют порошки (ГОСТ 21448-75). Изготавливают их путем распыления жидкого металла. Форма частиц может быть сфе-

рической или осколочной. Основными компонентами порошков являются углерод, хром, кремний, марганец, никель, вольфрам, молибден, бор. Для наплавки и напыления также применяют порошки соединений карбидов, нитридов, оксидов.

**Сварочная проволока из алюминия и алюминиевых сплавов.** Размерный ряд диаметров проволоки укладывается в пределах 0,8–12,5 мм. Допустимые отклонения по диаметру и овальности проволок регламентированы. Стандартизованы 14 марок проволоки. Их можно разделить на пять групп: из алюминия – Св-А97, Св-А85Т и др.; из сплавов системы Al – Mn – Св-Амц; из сплавов системы Al – Mg – Св-Амг3, Св-Амг6 и др.; из сплавов системы Al – Si – Св-АК5, Св-АК10; из сплавов системы Al – Cu – Св-1201. Обозначение марок сварочной проволоки принято по аналогии с соответствующими марками алюминиевых сплавов.

**Сварочные проволока и прутки из меди и ее сплавов.** Отечественная промышленность выпускает проволоку диаметром 0,8–8 мм и прутки диаметром 6 и 8 мм. Изготавливают проволоку следующих марок: медь и медные сплавы (М1, МСр1, МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-0,2-0,2), бронзы хромистые – БрХ0,7 и более сложного состава – БрХНТ, БрЕЦр, БрКМц3-1, БрОЦ4-3, БрАМц9-2, БрОФ-0,15, БрАЖМц10-3-1,5, латуни – Л63, ЛК62-0,5 и др. Условное обозначение марок проволоки принято аналогично маркам меди и ее сплавов.

**Проволока для сварки титана и его сплавов.** Проволока не стандартизована. Применяют сварочную проволоку, выпускаемую по ведомственным техническим условиям из технического титана ВТ1-0, ВТ1-1, сплава ВТ2 и реже из других сплавов (табл. 8.1).

Таблица 8.1

*Химический состав (%) некоторых марок стальной сварочной проволоки ГОСТ 2246-70*

Проволока	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Сера	Фосфор
1	2	3	4	5	6	7	8
Низко-углеродистая: Св-08	≤0,10	≤0,03	0,35–0,6	≤0,15	≤0,3	≤0,04	0,04
Св-08А				≤0,12		≤0,03	0,03
Св-08ГА			0,8–1,1			≤0,025	0,03
Св-10Г2	≤0,12		1,5–1,9	≤0,2	≤0,3		
Легированная: Св-08ГС	≤0,1	0,6–0,085	1,4–1,7	≤0,2	≤0,25	≤0,25	0,3
Св-08Г2С	≤0,1	0,7–0,95	1,8–2,1		≤0,25		
Св-18ХГС	0,15–0,22	0,9–1,2	0,8–1,2	0,8–1,1	≤0,3		

Окончание табл. 8.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Высоко- легированная: Св-12Х13	0,09–0,14	0,3–0,7	0,3–0,7	12–14	≤0,6	0,25	0,3
Св-06Х19Н9Т	0,08	0,4–1	1–2	18–20	8–10	0,015	
Св-07Х19Н10Б	0,05–0,09	≤0,7	1,5-2	18–20	910	0,015	
Св- 10Х16Н25АМ6	0,1	≤0,6	1–2	15–17	24–27	0,18	0,2

## 8.2. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Для ручной дуговой сварки сталей широко применяются плавящиеся металлические электроды в виде стержней длиной до 450 мм из сварочной проволоки с нанесенным на них слоем покрытия 2. Один из концов электрода 1 на длине 20...30 мм освобожден от покрытия для зажатия его в электрододержателе с целью обеспечения электрического контакта. Торец 3 другого конца очищен от покрытия для возможности возбуждения дуги посредством касания изделия в начале процесса сварки.

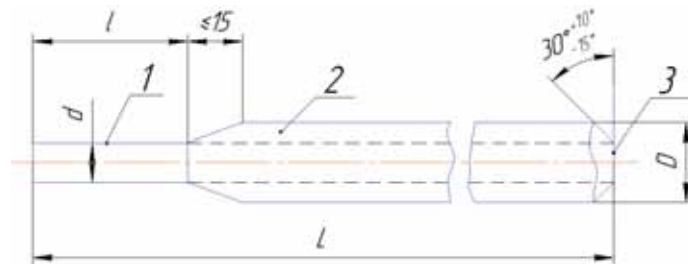


Рис. 8.1. Покрытый электрод: 1 – металлический стержень; 2 – слой покрытия; 3 – торец электрода

В покрытие электрода входят следующие компоненты:

- газообразующие – неорганические вещества (мрамор  $\text{CaCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$ ) и органические вещества (крахмал, декстрин);
- ионизирующие или стабилизирующие – различные соединения, в состав которых входят калий, натрий, кальций (мел, полевой шпат, гранит и др.);
- шлакообразующие, составляющие основу покрытия, – обычно руды (марганцевая, титановая), минералы (ильменитовый и рутиловый концентраты, полевой шпат, кремнезем, гранит, плавиковый шпат и др.);
- легирующие элементы и элементы раскислители – кремний, марганец, титан и др., используемые в виде сплавов этих элементов с железом, так называемые ферросплавы;

- связующие компоненты – водные растворы силикатов натрия и калия, называемые **жидким стеклом**.

Для повышения производительности сварки в покрытия добавляют железный порошок до 60 % массы покрытия.

Металлические электроды для дуговой сварки сталей изготавливают в соответствии с ГОСТ 9466-75, предусматривающим следующую классификацию:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с  $\sigma_B < 600\text{МПа}$  – **У**;
- для сварки легированных конструкционных сталей с  $\sigma_B > 600\text{МПа}$  – **Л**;
- для теплоустойчивых сталей – **Т**;
- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами – **Н**.

По виду покрытия – с кислым покрытием (**А**), основным (**Б**), целлюлозным (**Ц**), рутиловым (**Р**) и смешанного типа.

Кислые покрытия (электроды АНО-2, СМ-5 и др.) состоят в основном из оксидов железа и марганца (руды), кремнезема, ферромарганца. Они технологичны, однако наличие оксидов Mn делает их токсичными.

Рутиловые покрытия (электроды АНО-3, АНО-4, ОЗС-03, ОЗС-4, ОЗС-6, МР-3, МР-4 и др.) имеют в своем составе преобладающее количество рутила  $\text{TiO}_2$ . Такие покрытия менее вредны для дыхательных органов сварщика, чем другие.

Целлюлозные покрытия (электроды ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗЦ-1 и др.) состоят из целлюлозы, органической смолы, ферросплавов, талька и др. Эти покрытия удобны для сварки в любом положении в пространстве, но дают наплавленный металл пониженной пластичности.

Основные покрытия (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 электродов приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2

*Характеристики покрытых электродов*

Марка электрода	Тип электрода	Механические характеристики			Технологические характеристики	
		$\delta_B$ , МПа	$\delta_T$ , МПа	$a_H$ , кДж/м <sup>2</sup>	$\alpha_H$ , г(А·с)	Род тока
1	2	3	4	5	6	7
ОММ-5	Э42-Р	490	363	980	$2 \cdot 10^{-3}$	Переменный и постоянный
АНО-6	Э42-Т	440	232	1370	$2,4 \cdot 10^{-3}$	То же
ОЗС-2	Э42А0Ф	450	372	1760	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Постоянный
АНО-3	Э46-Т	490	372	1470	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Переменный и постоянный

Окончание табл. 8.2

1	2	3	4	5	6	7
АНО-4	Э46-Т	490	362	1470	$2,3 \cdot 10^{-3}$	То же
ОЗС-4	Э46-Т	490	382	1175	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Переменный и постоянный
МР-3	Э46-Т	490	372	1470	$2,2 \cdot 10^{-3}$	То же
УОНИ 13/45	Э42А-Ф	450	353	2160	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Постоянный
УОНИ 13/55	Э50А-Ф	510	412	1960	$2,5 \cdot 10^{-3}$	Постоянный
УОНИ 13/65	Э60А-Ф	608	461	1760	$2,5 \cdot 10^{-3}$	Постоянный
УОНИ 13/85	Э85-Ф	882	520	882	$2,6 \cdot 10^{-3}$	Постоянный
АНО-1	Э42-Т	460	343	1370	$3 \cdot 10^{-3}$ $4,2 \cdot 10^{-3}$	Переменный и постоянный
АНО-5	Э42-Т	450	372	1270	$4,2 \cdot 10^{-3}$	То же
ОЗС-3	Э46-Т	470	392	1180	$3 \cdot 10^{-3}$	То же

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра электрода  $D$  к диаметру стального стержня  $d$  различают:

- с тонким покрытием ( $D/d \leq 1,2$ ) присвоен индекс **М**;
- со средним покрытием ( $1,2 < D/d \leq 1,45$ ) – **С**;
- с толстым покрытием ( $1,45 < D/d \leq 1,8$ ) – **Д**;
- с особо толстым покрытием ( $D/d \leq 1,8$ ) – **Г**.

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 переменным и постоянным током прямой и обратной полярности. Покрытые электроды выпускают диаметром металлического стержня от 1,6 до 12 мм и длиной от 150 до 450 мм. Условное обозначение типа электрода расшифровывается следующим образом: буква Э – электрод, стоящее за ней число – временное сопротивление на разрыв металла шва (так электроды типа Э46 марок ОЗС-4, АНО-3 должны обеспечить временное сопротивление не менее 451 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 сварочной проволокой, составом покрытия, химическим составом и свойствами металла шва и др.

По ГОСТ 10051-75 выпускаются электроды для дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (например, Э-10Г2, Э-90Х4М4ВФ и др.). Кроме плавящихся покрытых электродов для руч-

ной дуговой и механизированной видов сварки в защитных газах, применяют неплавящиеся вольфрамовые, реже угольные и графитовые электроды. Эти электроды служат для возбуждения и поддержания горения дуги. Для повышения устойчивости горения дуги и стойкости вольфрамовых электродов в них вводят 1,5–3 % оксидов активирующих редкоземельных металлов (тория, лантана, иттрия), повышающих эмиссионную способность электрода. Вольфрамовые электроды выпускают в виде прутков диаметром 0,5; 0,2; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 и 10,0 мм. В зависимости от химического состава электроды изготовляют следующих марок: ЭВЧ – из вольфрама чистого, ЭВЛ – из вольфрама с присадкой оксида лантана, ЭВИ – из вольфрама с присадкой оксида иттрия, ЭВТ – оксида тория. Цифры в марке вольфрамового электрода указывают количество активирующей присадки в десятых долях процента. Угольные и графитовые электроды (стержни) изготовляют из электротехнического угля или синтетического графита диаметром от 4 до 18 мм и длиной от 250 до 700 мм.

Условное обозначение электродов должно содержать следующие данные, расположение которых указано на рисунке 8.2.

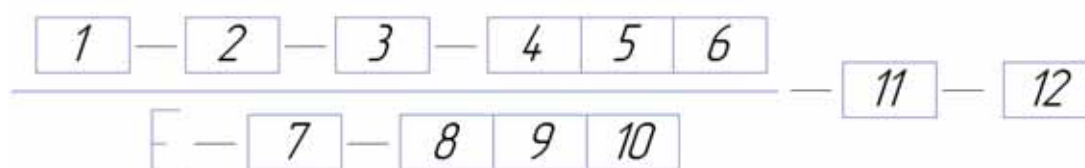


Рис. 8.2. Структура условного обозначения электродов согласно ГОСТ 9466-75

В обозначении: **1** – тип; **2** – марка; **3** – диаметр, мм; **4** – назначение электродов; **5** – обозначение толщины покрытия; **6** – группа электродов; **7** – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва по ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75 или ГОСТ 10052-75; **8** – обозначение вида покрытия; **9** – обозначение допустимых пространственных положений сварки или наплавки; **10** – обозначение рода применяемого при сварке или наплавке тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода и источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц; **11** – обозначение стандарта ГОСТ 9466-75; **12** – обозначение стандарта на типы электродов.

Такое полное условное обозначение должно быть указано на этикетках или при маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами.

Во всех видах документации дается сокращенное условное обозначение электродов, которое должно состоять из марки, диаметра, группы электродов и обозначения стандарта (ГОСТ 9466-75).

### 8.3. СВАРОЧНЫЕ ФЛЮСЫ

Большинство металлов и сплавов при сварке взаимодействуют с окружающей атмосферой. Особенно реагирует расплавленный металл. Менее подвержены этому закристаллизовавшийся металл шва и металл в зоне термического влияния. В результате взаимодействия с окружающей средой происходит окисление металла, а также растворение в нем азота и водорода. Это приводит в большинстве случаев к ухудшению свойств металла шва и сварных соединений. Поэтому при сварке необходима защита металла сварочной ванны от контакта с воздухом. Применяется шлаковая, газовая и комбинированная защита.

Особенность шлаковой защиты заключается в возможности металлургической обработки расплавленного металла. Для этого применяют специальные сварочные флюсы, образующие при расплавлении шлаки с определенными физико-химическими свойствами. Такие флюсы используют при автоматической и механизированной дуговой и электрошлаковой сварке и наплавке. Шлаки условно осуществляют и металлургическую обработку (раскисление, связывание серы и фосфора, легирование). Пассивные шлаки осуществляют в основном защитные функции. Кроме того, шлаки должны обеспечивать хорошее формирование шва, надлежащий химический состав металла, отсутствие пор и трещин, устойчивость процесса сварки, легкую отделяемость шлаковой корки от поверхности шва. Для сварки сталей используют шлаки различных систем. В большинстве из них в качестве обязательной составляющей, оказывающей влияние на физические свойства шлака, входит фтористый кальций  $\text{CaF}_2$ . Наибольшее распространение получили шлаки, содержащие  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др. Соотношение оксидов в шлаках для сварки различных сталей изменяется. Уменьшение в шлаках концентрации активных оксидов ( $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) и повышение в них содержания прочных оксидов ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) приводят к снижению окислительной способности системы по отношению к большинству легирующих элементов в сварочной ванне.

По способу изготовления флюсы разделяют на плавные и неплавные. Плавный флюс получают сплавлением его составляющих. Сплавленную массу после охлаждения подвергают дроблению на зерна требуемого размера. Неплавные флюсы представляют собой механическую смесь порошкообразных материалов, замешанную на определенном связующем, например жидком стекле, прокаленную и гранулированную в зерна определенных размеров. Преимуществом плавных флюсов являются высокие технологические свойства (защита, формирование, отделяемость шлаковой корки и др.) и малая стоимость. Пре-

имуществом неплавленных флюсов является возможность в более широких пределах легирования металла шва через флюс.

В настоящее время в промышленности преимущественно применяют плавленные флюсы. Плавленные флюсы для сталей различают по содержанию в них оксидов кремния – высококремнистые (до 40–50 %  $\text{SiO}_2$ ), низкокремнистые (до 35 %  $\text{SiO}_2$ ) и бескремнистые; по содержанию оксида марганца – высокомарганцовистые (более 30 %  $\text{MnO}$ ), среднемарганцовистые (от 15 до 30 %  $\text{MnO}$ ) и низкомарганцовистые. Низкокремнистые флюсы применяют обычно для сварки легированных сталей. Для сварки низкоуглеродистых сталей применяют преимущественно высококремнистые марганцовистые флюсы в сочетании с низкоуглеродистой сварочной проволокой. Для сварки высоколегированных сталей с большим содержанием таких легкоокисляющихся элементов, как С, Мо, Ti, Al и др., применяют бескремнистые флюсы на основе соединений  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и бескислородные фтористые флюсы на основе  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{NaF}$  и др. Для сварки алюминия, магния, титана и их сплавов используют флюсы, образующие бескислородные шлаковые системы. Для титана – на основе  $\text{CaF}_2$  с небольшими добавками хлоридов; для алюминия – на основе хлористых ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{LiCl}$ ) солей с добавками фторидов ( $\text{NaF}$ ,  $\text{KF}$ ,  $\text{LiF}$  и др.), для магниевых сплавов – на основе фторидных соединений ( $\text{KF}$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{BaF}_2$  и др.). Для сварки меди и медных сплавов применяют флюсы, образующие шлаковые системы, основу которых составляют бораты: бура  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 10\text{H}_2\text{O}$  и борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . В другие шлаковые системы эти соединения вводят в виде добавок.

Для изготовления флюсов используют исходные материалы (руды, кварцевый песок, рутил, каолин, мрамор, фтористые и хлористые соли и другие компоненты). Компоненты должны быть недорогими и чистыми от вредных примесей (серы, фосфора и др.). Особенно высокая чистота требуется для флюсов, используемых при сварке титана и его сплавов и других активных материалов.

Несмотря на большое количество флюсов, используемых при сварке и наплавке различных металлов, общий стандарт на них пока не разработан. Имеющийся ГОСТ 9087-81 регламентирует требования к плавленным флюсам для сварки сталей. По этому стандарту выпускается 21 марка плавленных флюсов. Наиболее распространенными являются флюсы марок АН-348А, ОСЦ-45, АН-20, АН-26, АН-15М и др. В таблице 8.3 приведены рекомендуемые области применения плавленных флюсов.



Таблица 8.3

*Рекомендуемое назначение сварочных флюсов*

Марки флюсов	Назначение
АН-348А, АН-348АМ, ОСЦ-45, АН-348-В, ОСЦ-45М, ФЦ-9, АН-60	Механизированная сварка и наплавка углеродистых и низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой
АН-8	Электрошлаковая сварка углеродистых и низколегированных сталей соответствующей сварочной проволокой
АН-20С, АН-20СМ, АН-20П, АН-15М, АН-18	Автоматическая сварка и наплавка высоколегированных и среднелегированных сталей соответствующей проволокой
АН-22	Электрошлаковая и дуговая автоматическая сварка и наплавка низколегированных и среднелегированных сталей соответствующей сварочной проволокой
АН-26С, АН-26СП, АН-26П	Автоматическая и механизированная сварка нержавеющих и коррозионно-стойких сталей соответствующей сварочной проволокой
АН-17М, АН-43, АН-47	Автоматическая дуговая сварка и наплавка углеродистых низколегированных и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности соответствующей сварочной проволокой

**8.4. ЗАЩИТНЫЕ ГАЗЫ**

Защитные газы при сварке защищают дугу и сварочную ванну от вредного воздействия окружающей воздушной среды. Эта защита осуществляется путем физического оттеснения воздуха потоком газа от места сварки. В качестве защитных газов применяют инертные и активные газы, а также их смеси. Из инертных газов при сварке используют аргон и гелий. Это одноатомные газы, которые не вступают в химические реакции с твердыми и жидкими металлами и практически нерастворимы в большинстве из них. Наибольшее распространение получил аргон Ar, его получают из атмосферного воздуха. Инертные газы применяют для сварки химически активных металлов (титан, алюминий, магний и др.), а также легированных сталей, когда необходимо получить сварные швы, однородные по составу с основным и присадочным металлом. Инертные газы обеспечивают защиту металла при сварке, не оказывая на него металлургического воздействия.

Наибольшее распространение получил аргон. Его получают из атмосферного воздуха. Он выпускается, согласно ГОСТ 10157-79, двух сортов: высшего чистотой не менее 99,992 % Ar и первого не менее 99,987 % Ar. Хранят и транспортируют аргон в стальных баллонах емкостью 40 л под давлением 15 МПа.

Гелий He получают из добываемых природных газов. Он значительно легче воздуха и в 10 раз легче аргона. Поэтому при сварке требуется повышенный расход его по сравнению с аргоном. Стоимость гелия также примерно в 5 раз больше стоимости аргона. Выпускают гелий двух сортов: особой и высокой чистоты. Для сварки часто используют смеси из инертных газов, например смесь, состоящую из 70 % аргона и 30 % гелия (по объему). Хранят и транспортируют гелий, так же как и аргон, в баллонах, окрашенных в коричневый цвет.

Активные защитные газы предохраняют зону сварки от воздуха, но вместе с тем вступают в химическое взаимодействие со свариваемым металлом или могут растворяться в нем. Из активных газов для сварки используют в основном углекислый газ. Другие активные газы – кислород, водород, азот – используют для составления защитных газовых смесей.

Углекислый газ CO<sub>2</sub> выпускают по ГОСТ 8050-76 трех марок. Для сварки используют сварочный газ чистотой не менее 99,5 %. Хранят и транспортируют его в жидком виде в стальных баллонах емкостью 40 л под давлением 6,0–7,0 МПа. Баллоны окрашивают в черный цвет. Углекислый газ относится к окислительным. Поэтому его в основном применяют для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Назначение его состоит в защите расплавленного металла от азота воздуха.

Для защитных средств применяют также смеси аргона с гелием, водородом, азотом, углекислым газом и кислородом. В ряде случаев такие смеси обладают лучшими технологическими свойствами, чем отдельные газы. Например, смесь углекислого газа с кислородом (2–5 %) способствует мелкокапельному переносу электродного металла и меньшему разбрызгиванию, улучшению формирования шва.

## ВОПРОСЫ

1. Что входит в понятие «сварочные материалы»?
2. Какие виды сварочных материалов непосредственно участвуют в образовании шва?
3. Что обозначают цифры и буквы в условных обозначениях сварочной проволоки сплошного сечения?
4. Какие основные компоненты входят в состав покрытия электродов?
5. Перечислите виды электродных покрытий.
6. Для чего предназначены сварочные флюсы?
7. Какую роль играют защитные газы при сварке?
8. Какие газы и газовые смеси используют при сварке?
9. Как транспортируют и в каком состоянии сварочные газы?
10. Каким образом с помощью сварочных материалов можно ввести легирующие элементы в шов при сварке?

## ГЛАВА 9. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

### 9.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДУГИ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Для осуществления устойчивого дугового разряда между электродом и свариваемым изделием к ним необходимо подвести напряжение от специального источника питания электрическим током. Такой источник должен обеспечивать легкое и надежное возбуждение дуги, устойчивое горение ее в установившемся режиме сварки, регулирование мощности (силы тока). Одной из характеристик источников тока является внешняя вольтамперная характеристика, представляющая зависимость напряжения на выходных зажимах источника от силы тока нагрузки, выражаемая графически. Внешние вольтамперные характеристики источников питания сварочной дуги могут быть (рис. 9.1) падающими (напряжение уменьшается с увеличением сварочного тока), жесткими – уменьшения напряжения с увеличением силы тока не происходит, возрастающими – при увеличении силы тока напряжение возрастает.

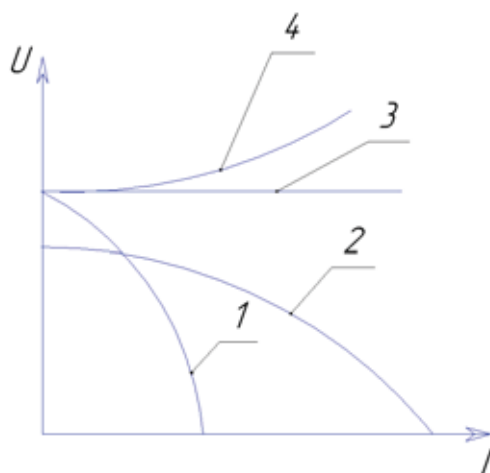


Рис. 9.1. Внешние вольтамперные характеристики источников питания дуги: 1 – крутопадающая; 2 – пологопадающая; 3 – жесткая; 4 – возрастающая

Наиболее часто используют источники с характеристиками первого типа. Между статической вольтамперной характеристикой дуги и внешней характеристикой источника питания должно быть определенное соответствие. При стабильном горении дуги требуется выполнение условия

$$I_{\text{д}} = I_{\text{и}}; U_{\text{д}} = U_{\text{и}}. \quad (9.1)$$

При совмещении вольтамперных характеристик источника 2 и дуги 1 (рис. 9.2) такое условие может выполняться в двух точках: А и В. Однако устойчивый процесс существования дуги будет лишь в точке А.

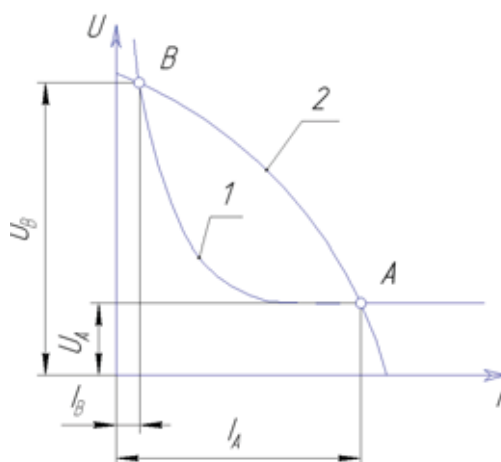


Рис. 9.2. Совмещение характеристик внешней источника питания дуги и статической дуги

В этой точке при уменьшении сварочного тока напряжение источника оказывается больше необходимого для горения дуги по ее статической характеристике, что приведет к возрастанию силы тока, и процесс вернется в точку А. Увеличение силы тока в точке А требует возрастания напряжения, необходимого для горения дуги, согласно статической характеристике. Однако напряжение источника, согласно внешней характеристике, будет меньшим, что, в свою очередь, вызовет снижение силы тока. Поэтому сила тока уменьшится и режим горения дуги вновь восстановится в точке А.

При рассмотрении процесса в точке В картина иная. При уменьшении силы тока здесь для поддержания дугового разряда, согласно статической характеристике дуги, требуется более высокое напряжение. Его значение становится больше, чем может дать источник при этом же токе, и дуга погаснет. Если в точке В сила тока увеличится, то напряжение дуги станет меньше напряжения источника. Избыток напряжения вызовет дальнейшее возрастание силы сварочного тока вплоть до значения, соответствующего силе тока в точке А. В результате процесс достигнет положения устойчивого горения в точке А.

Выбор источника питания по типу внешней характеристики производят в зависимости от способа сварки и конкретных условий ведения процесса. При ручной сварке применяют источники с крутопадающей внешней характеристикой. При этом частые изменения длины дуги сопровождаются незначительными изменениями сварочного тока и теплового режима сварки, что не отражается на размерах сварочной ванны и

геометрических параметрах шва. Источники питания с пологопадающей внешней характеристикой применяют для автоматической сварки под слоем флюса и в среде защитных газов проволокой диаметром 1,6–2,0 мм. При этом поддержание постоянства параметров сварочного режима достигается за счет саморегулирования дуги. Оно заключается в изменении скорости плавления электродной проволоки при колебаниях длины дуги. Для этих условий необходимо, чтобы при небольших отклонениях длины дуги ( $a$ , следовательно, и напряжения) изменения силы тока были значительными. Это лучше обеспечивается при пологопадающей внешней характеристике источника. Сварка в защитных газах тонкой электродной проволокой на больших плотностях силы тока, когда статическая характеристика дуги имеет возрастающий характер, производится от источников тока, имеющих жесткую или слегка возрастающую характеристику. В этом случае процесс саморегулирования протекает более интенсивно, повышается устойчивость горения дуги, облегчается ее зажигание, уменьшается разбрызгивание.

С технологических позиций источник питания дуги должен легко настраиваться на нужный режим сварки. Для этой цели в них необходимы регулирующие устройства, позволяющие получать семейства однотипных внешних характеристик, различающихся значениями своих параметров (рис. 9.3).

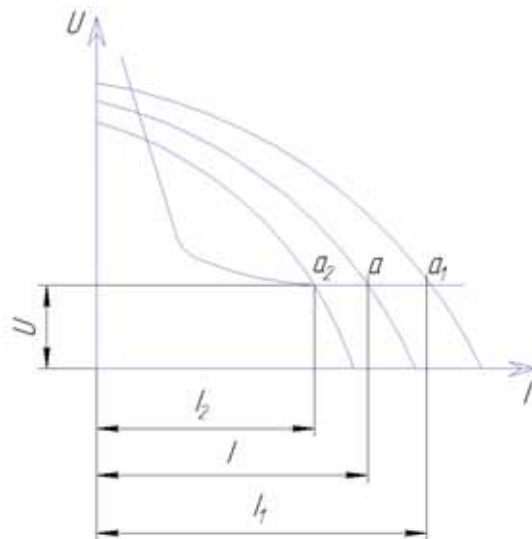


Рис. 9.3. Семейство внешних характеристик источника питания дуги:  
 $a_1, a_2, a$  – режимы сварки при сварочном токе  $I_1, I_2, I$

Важны и динамические свойства источников питания дуги. Сила тока и напряжение в дуге в процессе сварки непрерывно меняются. Это связано с переходом капель электродного металла и наличием коротких замыканий. В эти моменты напряжение дуги падает до нуля, а свароч-

ный ток возрастает. При возобновлении дугового разряда напряжение дуги вновь начинает возрастать от нуля до напряжения зажигания. При этом источник питания дуги должен изменять напряжение от нуля до напряжения холостого хода. Источник должен быстро реагировать на все изменения, проходящие в дуге. При этом сила тока и напряжение источника принимают свои установившиеся значения не мгновенно, а в течение некоторого времени в зависимости от его магнитной инерционности. Способность источника быстро реагировать на изменения, происходящие в дуге, определяет его динамические свойства. Чем быстрее источник питания дуги восстанавливает напряжение, тем лучше его динамические свойства. При этом обеспечивается спокойный перенос металла с электрода в сварочную ванну, уменьшение разбрызгивания и улучшение качества сварки. Динамической характеристикой источника питания является время, необходимое для восстановления напряжения от нулевого значения в момент короткого замыкания, которое не должно быть более 0,05 мс до рабочего напряжения. При этом и скорость нарастания силы тока короткого замыкания также должна быть оптимальной. При больших скоростях нарастания силы тока наблюдается взрывной характер плавления электрода с сильным разбрызгиванием металла, при малых скоростях – затрудненное образование ионизованного промежутка и затрудненное возбуждение дуги. Источники питания дуги по современным стандартам характеризуются рядом параметров, получаемых при работе на установившихся режимах. К установившимся режимам относят работу источников при холостом ходе, рабочей нагрузке и коротком замыкании.

Номинальная сила тока определяет расчетное значение сварочного тока источника. Номинальные силы тока источников питания дуги соответствуют параметрическому ряду, обычно установленному для источников электрического тока. Номинальные силы тока большинства выпускаемых источников питания 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 максимальную силу тока принимают номинальную силу тока. Отношение максимальной силы тока к минимальной показывает кратность регулирования. Обычно она изменяется от трех и выше.

Напряжение холостого хода в значительной мере определяет условия зажигания и повторного возбуждения дуги и регулируется на зажимах источника при отсутствии нагрузки в сварочной цепи.

Номинальное рабочее напряжение характеризует напряжение на зажимах источника под нагрузкой и условно определяется линейной

функцией от сварочного тока. Для источников с номинальным значением сварочного тока до 600 А оно определяется по формуле

$$U = 20 + 0,04I_{CB}, \quad (9.2)$$

где  $I_{CB}$  – сила тока.

Для более мощных источников условное рабочее напряжение принимают равным 44 В и выше. Продолжительность работы источника при заданной мощности определяет возможность его перегрева.

Источники сварочного тока могут работать в одном из следующих режимов: перемежающемся, повторно-кратковременном и продолжительном.

В перемежающемся режиме работа под нагрузкой в течение времени  $t_{XX}$  чередуется с холостым ходом в течение времени  $t_H$ , когда источник силы тока не отключается от сети. Такой режим характеризуется относительной продолжительностью нагрузки, определяемой по формуле:

$$ПН = \frac{t_H}{t_H + t_{XX}} \times 100\%. \quad (9.3)$$

Такой режим работы характерен для источников при ручной дуговой сварке, а также для автоматической и механизированной сварки на постоянном токе. Для ручной сварки в большинстве случаев источники имеют номинальную ПН, равную 20,35 и 60 %.

В **повторно-кратковременном режиме** работа под нагрузкой чередуется с временем пауз, когда источник полностью отключается от сети на время  $t_{П}$ . Такой режим характеризуется относительной продолжительностью включения

$$ПН = \frac{t_H}{t_H + t_{П}} \times 100\%, \quad (9.4)$$

где  $t_{П}$  – время паузы. Такой режим характерен для автоматической и механизированной сварки на переменном токе и источники имеют ПВ, равную 60 % и более.

В данном случае  $t_H + t_{XX}$ ,  $t_H + t_{П}$  представляют собой расчетно-проверочный цикл  $t_{П}$ , который принимают равным 5 или 10 мин. При этом расчетный ток выбирают при номинальном значении ПН или ПВ.

Если источник питания используется при ПН или ПВ, которые отличаются от указанных в паспорте, максимально допустимый сварочный ток определяется по формуле

$$I_{ДОП} = I_{НОМ} \times \sqrt{\frac{ПН_{НОМ}}{ПВ_{РАБ}}}. \quad (9.5)$$



Все сварочные источники в промышленности классифицируются по ряду признаков: переменного тока – сварочные трансформаторы, генераторы повышенной частоты; постоянного тока – генераторы, выпрямители. Далее разделение производят по конструктивным особенностям, виду внешних характеристик, по количеству подключаемых одновременно постов сварки и др. Требования к источникам и их характеристики определяются соответствующими ГОСТами.

## 9.2. СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

**Трансформатором** называют электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты. Работа трансформатора основана на электромагнитном взаимодействии двух или нескольких не связанных между собой обмоток провода. Простейший трансформатор (рис. 9.4) состоит из магнитопровода 1, первичной 2 и вторичной 3 обмоток.

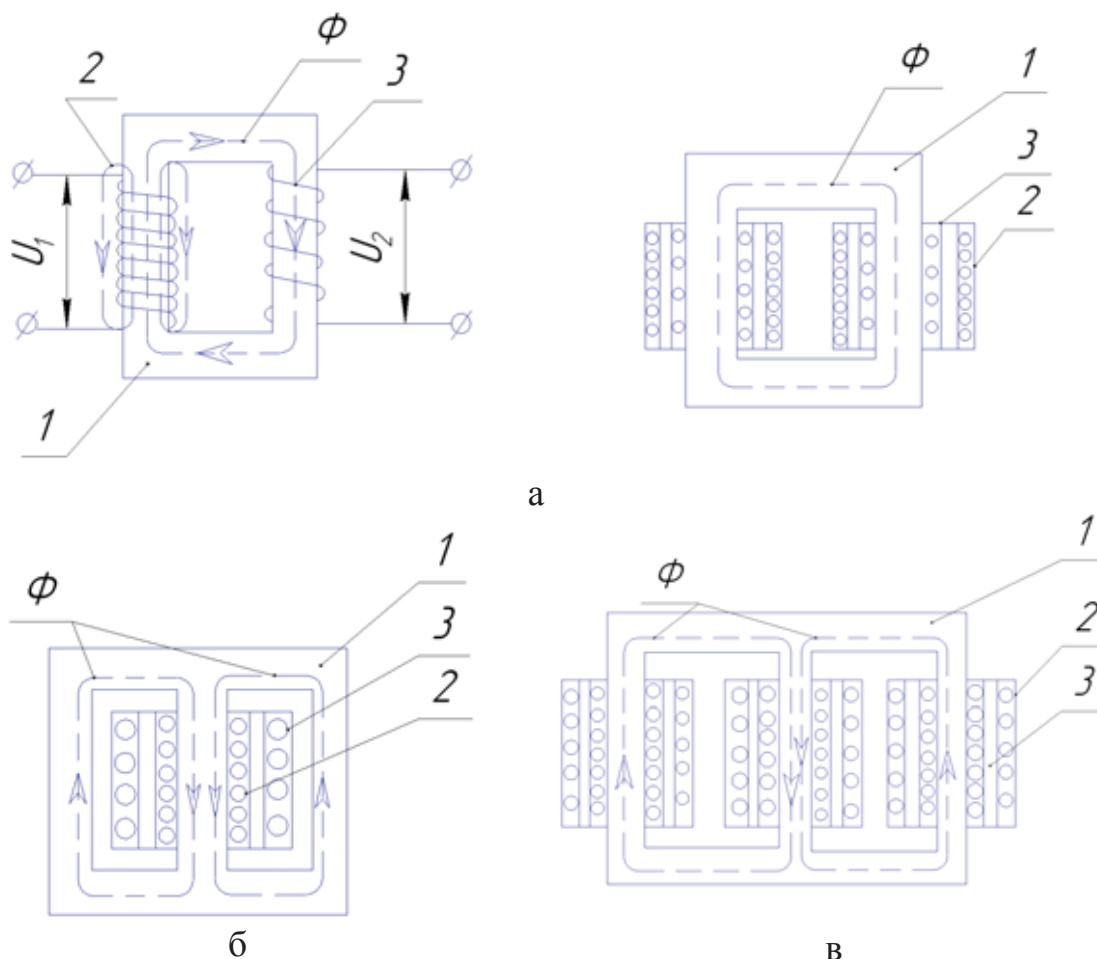


Рис. 9.4. Принципиальная схема и типы трансформаторов: а – стержней; б – броневой; в – трехфазный;  $\Phi$  – магнитный поток

Обмотки имеют соответственно число витков  $W_1$  и  $W_2$ . Магнитопровод выполняется из листовой электротехнической стали с толщиной листов 0,35 или 0,5 мм с лаковой изоляцией. Такая конструкция магнитопровода дает возможность ослабить возникающие в нем паразитные вихревые токи. Часть магнитопровода с размещенными обмотками называют **стержнями**, которые соединяются ярмом. Подведение напряжения внешней сети  $U_1$  к первичной обмотке вызывает в ней силу тока  $I_1$ . При этом в магнитопроводе возбуждается магнитный поток  $\Phi_1$ , пронизывающий витки обеих обмоток. В результате в них индуцируется э.д.с., действующие значения которой определяются так:

$$E_1 = 4,44 \times f \times W_1 \times \Phi_0 \times 10^{-8}, \quad (9.6)$$

$$E_2 = 4,44 \times f \times W_2 \times \Phi_0 \times 10^{-8}, \quad (9.7)$$

где  $f$  – частота переменного тока, Гц;  $W_1, W_2$  – число витков первичной и вторичной обмоток;  $\Phi_0$  – магнитный поток, Мкс.

Поскольку потери в трансформаторе малы, можно считать, что  $U_1 = E_1, U_2 = E_2$ . Тогда

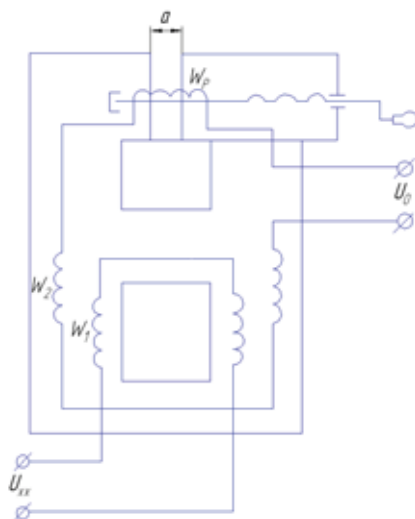
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} = K. \quad (9.8)$$

Это отношение  $K$  называется коэффициентом трансформации, характеризующим преобразующие свойства трансформатора, которые зависят от числа витков первичной и вторичной обмоток. Сварочные трансформаторы являются специальными понижающими трансформаторами, имеющими требуемую внешнюю характеристику, обеспечивающими питание сварочной дуги и регулирование сварочного тока. Как правило, сварочные трансформаторы имеют падающую характеристику. Их используют для ручной дуговой и автоматической сварки под флюсом. Трансформаторы с жесткой характеристикой применяют для электрошлаковой сварки.

Регулирование сварочного тока и создание нужной внешней характеристики в сварочных трансформаторах обеспечивается за счет индуктивного сопротивления путем изменения магнитных потоков рассеяния. В зависимости от способа создания в цепи дуги индуктивного сопротивления сварочные трансформаторы делят на две группы: с нормальным магнитным рассеянием и реактивной катушкой – дросселем; с увеличенным магнитным рассеянием.

**Трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием** (рис. 9.5). В трансформаторах с нормальным магнитным рассеянием первичная  $W_1$  и вторичная  $W_2$  обмотки расположены на стержнях магнитопровода концентрично, за счет чего магнитные потоки рассеяния сведены к минимуму. Для получения необходимой индуктивности в цепь дуги по-

следовательно с вторичной обмоткой включают дополнительную реактивную катушку  $W_p$ . В настоящее время в основном применяют трансформаторы с совмещенной реактивной катушкой, располагаемой на общем магнитопроводе с обмотками трансформатора. При этом реактивная катушка имеет с ними как электрическую, так и электромагнитную связь. Верхняя часть магнитопровода имеет подвижную часть, при перемещении которой ходовым винтом изменяют воздушный зазор  $a$  в магнитопроводе. Вследствие этого изменяется магнитное сопротивление магнитопровода, что приводит к изменению силы сварочного тока. С увеличением зазора сила тока возрастает, и наоборот. За счет реактивной катушки обеспечивается получение падающей вольтамперной характеристики источника питания. Известны также схемы трансформаторов с отдельной реактивной катушкой и дросселями насыщения. Однако трансформаторы с нормальным магнитным рассеянием в настоящее время менее распространены. Например, для автоматической сварки под флюсом используют трансформатор ТСД-1000-4, имеющий дистанционное управление.



*Рис. 9.5. Электромагнитная схема сварочного трансформатора с нормальным магнитным рассеянием и совмещенной реактивной катушкой:  $a$  – воздушный зазор;  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_p$  – витки первичной; вторичной и реактивной обмоток соответственно*

**Трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием** относятся к стержневому типу (рис. 9.6). В них первичная и вторичная обмотки разнесены по высоте магнитопровода и имеют только электромагнитную связь. При прохождении тока по обмоткам катушек возникают магнитные потоки, основная часть которых замыкается по сердечнику магнитопровода. Другая часть их замыкается по воздуху, создавая потоки рассеяния, наводящие в трансформаторе реактивную э.д.с., которая

определяет его индуктивное сопротивление, обеспечивающее создание падающей вольтамперной характеристики. Сварочные трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием существуют трех типов: с раздвижными катушками, с подвижными магнитными шунтами, с управляемыми магнитными шунтами. В настоящее время трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием распространены более широко.

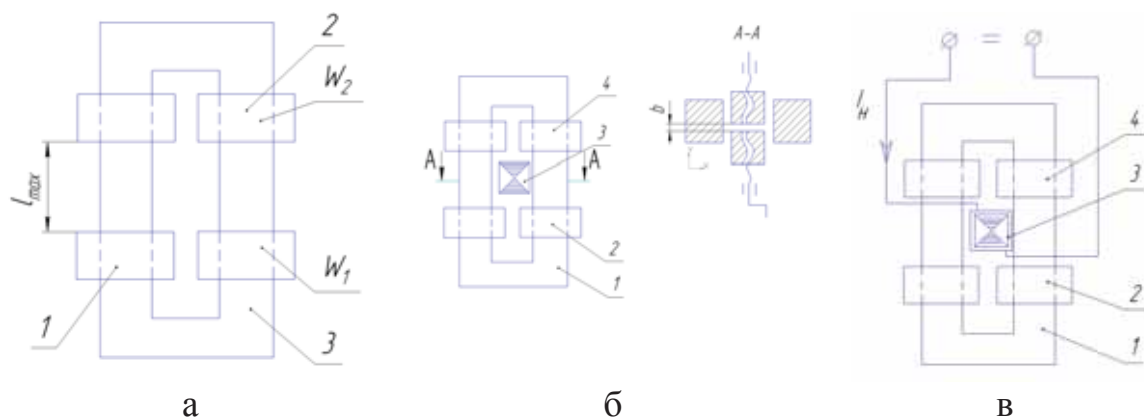


Рис. 9.6. Электромагнитные схемы трансформаторов с увеличенным магнитным рассеянием: а – с раздвижными обмотками; б – с подвижными магнитным шунтом; в – с управляемым магнитным шунтом

Таблица 9.1

*Технические характеристики трансформаторов с подвижными обмотками*

Параметр	ТД-102	ТД-306	ТДМ-317	ТДМ-401	ТДМ-503
Номинальный сварочный ток, А	160	250	315	400	500
Диапазон регулирования сварочного тока, А	60–175	100–300	60–360	65–480	90–560
Напряжение В: холостого хода	80	80	62–77	63–75	66–80
номинальное	26	30	32	36	40
Потребляемая мощность, кВ·А	11,4	19,4	20,5	32	36
Масса, кг	38	67	130	170	170
Номинальный режим работы, ПН%	20	20	60	60	60
Напряжение сети	220	220	220	220	220

**Трансформаторы с раздвижными катушками** (рис. 9.6, а) состоят из магнитопровода 3 и двух обмоток, из которых первичная 1 закреплена неподвижно, а вторичная 2 – подвижная. Регулирование сварочного то-

ка осуществляется изменением расстояния между ними. При удалении вторичной катушки от первичной увеличивается магнитный поток рассеяния и сварочный ток, а магнитная связь между обмотками уменьшается. При сближении катушек уменьшается индуктивное сопротивление, что приводит к увеличению сварочного тока. По этому принципу работают сварочные трансформаторы типа ТД, ТДМ (табл. 9.1). Трансформаторы этих типов наиболее часто используют для ручной дуговой сварки.

**Трансформаторы с подвижным магнитным шунтом** (рис. 9.6, б) состоят из магнитопровода 1 с расположенными на нем первичной 2 и вторичной 4 обмотками. Внутри магнитопровода установлен перемещающийся магнитный шунт 3, представляющий собой два пакета из пластин электротехнической стали. С помощью шунта изменяют магнитные потоки рассеяния. При уменьшении зазора между пакетами шунта часть магнитного потока будет замыкаться через шунт, магнитная связь между первичной и вторичной обмотками будет уменьшаться, а следовательно, будет уменьшаться и сварочный ток. При увеличении этого зазора большая часть магнитного потока будет проходить по основному магнитопроводу, магнитная связь между обмотками увеличится, что приведет к увеличению сварочного тока. Такой принцип применен в сварочном трансформаторе СТШ-500 и др.

**Трансформаторы с управляемым магнитным шунтом** (рис. 9.6, в) также имеют магнитопровод 1 с расположенными на нем первичной 2 и вторичной 4 обмотками. Магнитный шунт с обмоткой управления 3 расположен в окне магнитопровода. Обмотка управления питается постоянным током. Чем больший поток она создает, тем большее будет насыщение сердечника шунта и меньше магнитный поток рассеяния трансформатора. Таким образом, большему току подмагничивания в обмотке управления шунта соответствует большее значение сварочного тока, и наоборот. По такому принципу работают трансформаторы ТДФ (табл. 9.2), применяемые для автоматической дуговой сварки под флюсом.

Основные параметры трансформаторов для автоматической сварки регламентированы ГОСТ 7012-77. Трансформаторы выпускаются на номинальный сварочный ток от 630 до 2000 А при номинальном рабочем напряжении от 48 до 76 В. Основные параметры сварочных трансформаторов для ручной сварки регламентированы ГОСТ 95-77. Трансформаторы выпускаются переносные на силу тока от 125 до 250 А при номинальном рабочем напряжении от 25 до 30 В и передвижные – на силу тока от 250 до 500 А при минимальном рабочем напряжении от 30 до 40 В.

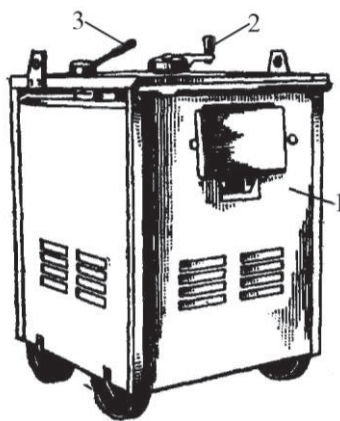
Таблица 9.2

*Технические характеристики трансформаторов  
для автоматической сварки под флюсом*

Параметр	ТДФП-1002	ТДФП-2002	ТДФЖ-1002	ТДФЖ-1002
Номинальный сварочный ток, А	1000	2000	1000	2000
Диапазон регулирования сварочного тока, А	380–800 700–1200	600–120 1100–1800 1500–220	-	-
Напряжение В: холостого хода номинальное	120 56	120 76	120 56	120 76
Потребляемая мощность, кВт·А	120	240	120	240
Масса, кг	550	830	550	830
Режим работы, ПН%	100	100	100	100
Напряжение сети	380	380	380	380

При электрошлаковой сварке используют специальные однофазные и трехфазные сварочные трансформаторы, обладающие жесткими вольтамперными характеристиками. К ним относятся трансформаторы ТШС-1000-1, ТШС-1000-3. Конструктивные особенности сварочных трансформаторов рассмотрим на некоторых примерах.

**Сварочный трансформатор ТД-500.** Сварочный трансформатор ТД-500У2 (рис. 9.7) предназначен для ручной и механизированной дуговой сварки, резки, наплавки металлов.



*Рис. 9.7. Сварочный трансформатор ТД-500: 1 – корпус; 2 – ручка ходового винта; 3 – переключатель ступеней*

Он представляет собой передвижной источник питания дуги, выполненный в однокорпусном исполнении с естественной вентиляцией.

По способу регулирования сварочного тока он относится к трансформаторам с увеличенным магнитным рассеянием и раздвижными обмотками. Трансформатор состоит из корпуса, внутри которого расположены магнитопровод стержневого типа, первичная и вторичная обмотки, переключатель ступеней регулирования силы тока и токоуказательный механизм. Каждая из обмоток имеет по две катушки, расположенные на общих стержнях магнитопровода. Перемещение подвижной вторичной обмотки производится с помощью ходового винта. Вращая ходовой винт, изменяют расстояние между обмотками.

Сварочный ток регулируется изменением индуктивного сопротивления. В трансформаторе предусмотрены две ступени регулирования сварочного тока переключением количества витков обмоток. Ступени переключаются специальным переключателем. На каждой из ступеней плавное регулирование силы тока осуществляется изменением расстояния между обмотками. При сближении катушек уменьшается индуктивное сопротивление, что приводит к увеличению сварочного тока, при их раздвижении сварочный ток уменьшается. Вследствие повышенной индуктивности рассеяния трансформатор обладает падающими вольтамперными характеристиками (рис. 9.8).

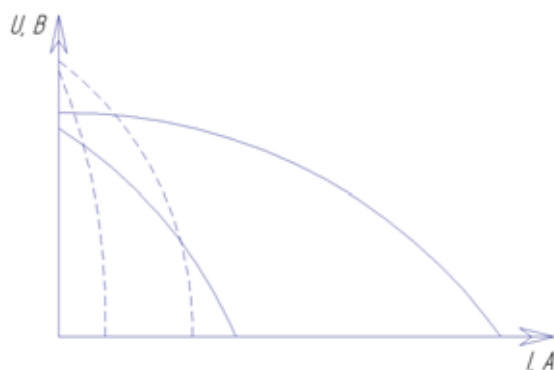


Рис. 9.8. Внешние характеристики сварочного трансформатора ТД-500

### 9.3. СВАРОЧНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Сварочные выпрямители представляют собой устройство, предназначенное для преобразования переменного тока в постоянный (выпрямленный). Он состоит из следующих основных узлов: силового трансформатора для понижения напряжения сети до необходимого напряжения холостого хода источника, блока полупроводниковых элементов для выпрямления переменного тока, стабилизирующего дросселя для уменьшения пульсаций выпрямленного тока. Выпрямительный блок представляет собой набор полупроводниковых элементов, включенных по определенной схеме. Особенность полупроводниковых эле-

ментов заключается в том, что они проводят ток только в одном направлении, в результате чего сила тока получается постоянной (выпрямленной). Такие элементы обладают вентиляльным эффектом – пропусканьем тока в одном направлении; их называют **полупроводниковыми вентилями**. Они делятся на неуправляемые – диоды, управляемые – тиристоры.

В качестве материала для кремниевого неуправляемого вентиля-диода (рис. 9.9, б) применяют тонкую кремниевую пластинку (катод), на одну сторону которой нанесен слой алюминия (анод). При непосредственном контактировании двух полупроводников в месте контакта образуется переходный слой (П), легко пропускающий электрический ток в одном направлении (от анода А к катоду К) и почти не пропускающий его в обратном направлении. Такой кремниевый диск с переходным слоем, впаянный в неразборный герметичный корпус (рис. 9.9, а), который имеет шпильку на одном конце для ввинчивания в охладитель, а с другого конца – вывод в виде гибкого провода, изолированного от корпуса, и представляет конструкцию диода.

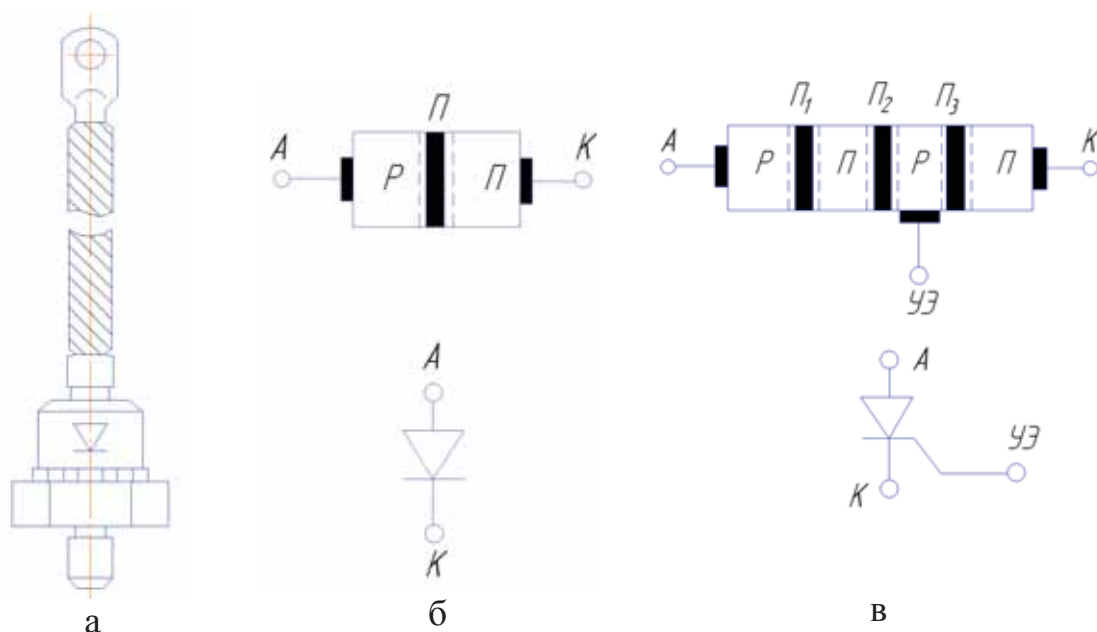


Рис. 9.9. Устройство и принцип работы диода и тиристора

Кремниевый управляемый вентиль-тиристор имеет четыре слоя и три перехода (рис. 9.9, в). Если к такому элементу приложить внешнее напряжение от анода к катоду, то средний переход  $\Pi_2$  оказывается включенным в обратном направлении и тиристор тока не пропускает (заперт). Его можно отпереть, если подать на его управляющий электрод (УЭ) положительный потенциал (импульс). В этом случае переход  $\Pi_2$  открывается и ток идет по тиристорному пути от анода к катоду. Тиристор



снова запретя лишь при спаде **протекающего** по нему тока до нуля. Изменяя по фазе электрический угол открывания тиристора, т.е. время подачи импульса относительно начала синусоиды питающего напряжения, можно регулировать среднее значение выпрямленного тока. Таким образом, тиристор будет выполнять функции не только выпрямителя, но и регулятора сварочного тока. Изменяют время подачи импульса, а следовательно, и силу тока с помощью специального электронного устройства. Конструктивно кремниевый тиристор выполнен, как и кремниевый диод, но имеет еще третий (управляющий) электрод. В промышленности в настоящее время получили распространение кремниевые и селеновые диоды и кремниевые тиристоры.

На рисунке 9.10 показана схема выпрямления однофазного переменного тока. Она состоит из силового однофазного трансформатора и четырех диодов, включенных по мостовой схеме.

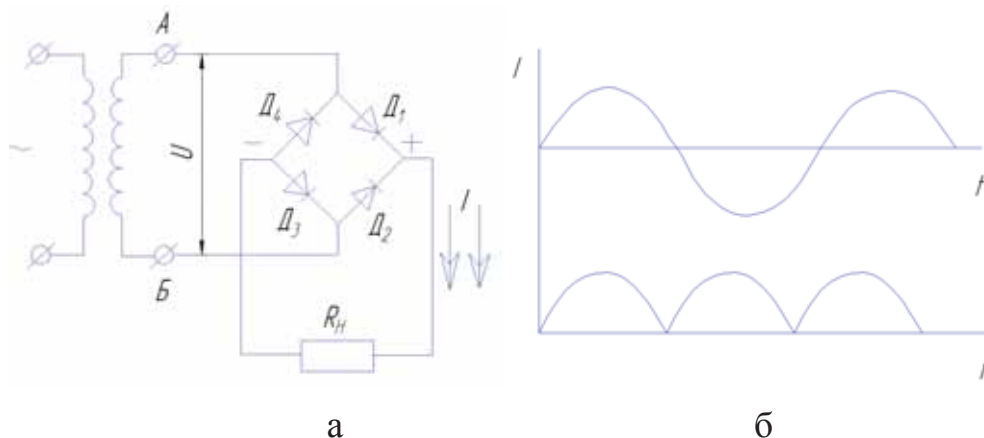


Рис. 9.10. Однофазная двухполупериодная мостовая схема выпрямления:  
а – схема включения; б – сила тока внешней цепи, выпрямленный ток

При таком варианте получают непрерывный выпрямленный пульсирующий ток с падением его до нуля после каждого полупериода. В сварочных выпрямителях силовой трансформатор, как правило, применяют трехфазный, что обеспечивает равномерную загрузку трехфазной сети, а с другой стороны, позволяет получать меньшие пульсации выпрямленного тока. В этом случае диоды соединяют по трехфазной мостовой схеме двухполупериодного выпрямления (рис. 9.11), представляющей собой мост из шести плеч. В каждом плече моста установлены вентили. Диоды в плечах каждой фазы соединены последовательно. В трех плечах соединены между собой все катоды, составляющие катодную группу выпрямителя, в остальных трех – все аноды, образующие анодную группу. Такая схема обеспечивает выпрямление обоих полупериодов переменного трехфазного тока во всех трех фазах. При-

менение трехфазной мостовой схемы позволяет свести пульсации выпрямленного тока до минимума.

Выпрямители для ручной дуговой сварки изготавливают на номинальные значения сварочного тока от 125 до 500 А при номинальном рабочем напряжении от 25 до 40 В. Выпрямители для механизированной и автоматической дуговой сварки изготавливают на номинальные значения сварочного тока от 500 до 2000 А при номинальном рабочем напряжении от 46 до 66 В. Технические характеристики некоторых типов выпрямителей, широко применяемых в производстве, приведены в табл. 9.3.

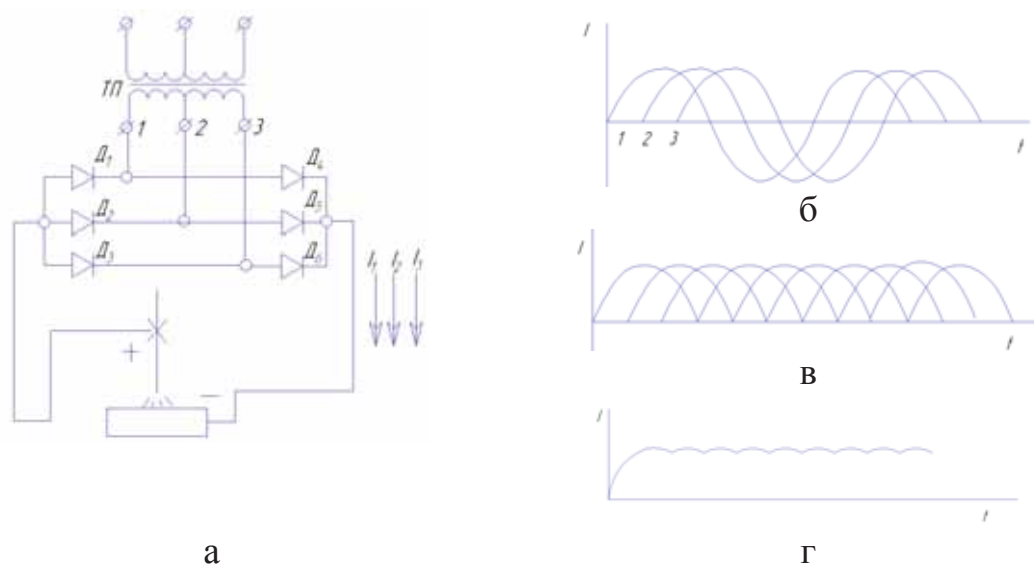


Рис. 9.11. Выпрямление трехфазного переменного тока: а – схема включения; б – трехфазный ток внешней цепи; в, г – выпрямленные токи трех фаз

Таблица 9.3

*Технические характеристики сварочных выпрямителей*

Параметр	ВД-201У3	ВД-306У3	ВДГ-303	ВДГ-601	ВДУ-506	ВДУ-1201
Вид внешней вольтамперной характеристики	Падающая	Падающая	Жесткая	Жесткая	Универсальная	
Номинальный сварочный ток, А	200	315	315	630	500	1200
Диапазон регулирования сварочного тока, А	30–200	45–315	50–315	100–630	50–500	300–1200
Напряжение В: холостого хода номинальное	64–71 28	61–70 32	60 40	90 66	80 50	100 66

Пределы регулирования напряжения, В	-	-	18–40	18–66	22–50	24–66
Потребляемая мощность, кВ·А	15	24	13	69	40	120
Масса, кг	120	180	230	595	310	850
Номинальный режим работы, ПН%	35	60	60	60	60	100

**Сварочный выпрямитель ВД-306 УЗ** предназначен для питания сварочной дуги постоянным током при ручной дуговой сварке, наплавке и резке металлов при питании от сети трехфазного переменного тока. Он состоит из понижающего сварочного трансформатора с подвижной первичной обмоткой, выпрямительного кремниевого блока с вентилятором, пусковой и защитной аппаратуры. Все составляющие части выпрямителя смонтированы на каркасе тележки и защищены кожухом из листового металла.

Напряжение, необходимое для процесса сварки, падающая внешняя характеристика выпрямителя и регулирование сварочного тока обеспечиваются трехфазным трансформатором с повышенным магнитным рассеянием. Через верхнее ярмо трансформатора пропущена направляющая ходового винта. При вращении винта происходит перемещение первичной обмотки и тем самым изменяется расстояние ее расположения от вторичной обмотки. Преобразование переменного тока в постоянный (сварочный) осуществляется с помощью выпрямительного блока, состоящего из шести диодов, собранных по трехфазной мостовой схеме выпрямления. Охлаждение выпрямителя – воздушное, принудительное. Для подключения выпрямителя к питающей сети на передней решетке корпуса имеется штепсельный разъем, для подключения сварочного кабеля там же имеются два гнезда токовых разъемов, обозначенных знаками «+» и «-». На лицевой панели корпуса расположен переключатель диапазонов сварочного тока, контрольные приборы и кнопки управления. Выпрямитель имеет два диапазона регулирования сварочных токов. Внутри каждого диапазона плавное регулирование сварочного тока производится изменением расстояния между обмотками сварочного трансформатора. Внешние характеристики выпрямителя (рис. 9.12) имеют крупнопадающую рабочую часть с небольшими кратностями тока короткого замыкания (1,2–1,4) от сварочного тока при номинальном рабочем напряжении.

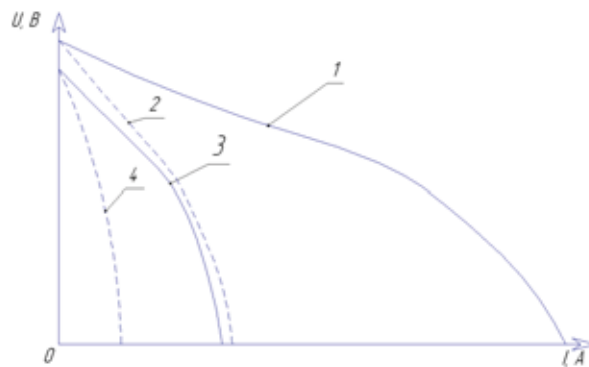


Рис. 9.12. Внешние характеристики сварочного выпрямителя ВД-306:  
1, 2 – при сдвинутых катушках; 3, 4 – при раздвинутых катушках

**Сварочный выпрямитель ВДГ-601** предназначен для однопостовой механизированной сварки в среде углекислого газа на форсированных режимах. Выпрямитель имеет трехфазный трансформатор, силовой выпрямительный блок на тиристорах, собранных на шестифазной схеме, дроссель в сварочной цепи, блок управления тиристорами, блок управления сварочным полуавтоматом, подогреватель газа, пускорегулирующую и защитную аппаратуру. Для подключения выпрямителя к сети и подключения сварочного провода имеются специальные зажимы. Силовой сварочный трансформатор – стержневого типа, трехфазный, с нормальным магнитным рассеянием. Первичная и вторичная обмотки расположены концентрически на стержнях магнитопровода. Силовой выпрямительный блок состоит из шести тиристоров. Охлаждение выпрямителя воздушное, принудительное. Плавное регулирование сварочного напряжения осуществляется резисторами, расположенными на блоке управления (местное управление), или с пульта управления полуавтоматом (дистанционное управление). Выпрямитель имеет жесткие внешние характеристики (рис. 9.13).

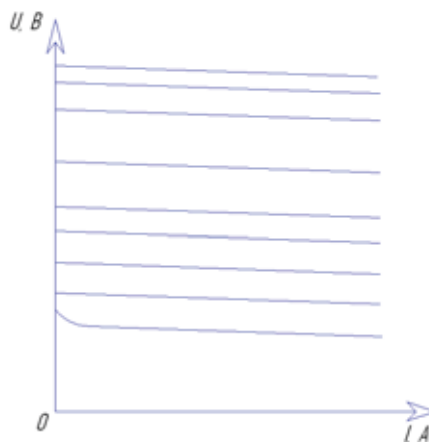


Рис. 9.13. Внешние характеристики выпрямителя ВДГ-601

**Сварочные выпрямители ВСВУ–ВСП.** Источники питания дуги этого вида относятся к тиристорным выпрямителям. Отличительным элементом их по сравнению с предыдущими является наличие тиристорного выпрямительного блока, который может использоваться в качестве регулятора силы тока. За счет управляющих импульсов, подаваемых на тиристорный блок, формируют вольтамперную характеристику выпрямителя и осуществляют его настройку на заданный режим непрерывной или импульсной дуговой сварки. Для этой цели в источнике предусмотрен специальный блок фазоимпульсного управления. Тиристорные выпрямители отличаются высокой стабилизацией по напряжению и силе тока дуги при изменениях напряжения питающей сети, длины дуги и температуры окружающей среды.

Принципиальная электрическая схема источников типа ВСВУ приведена на рисунке 9.14, а.

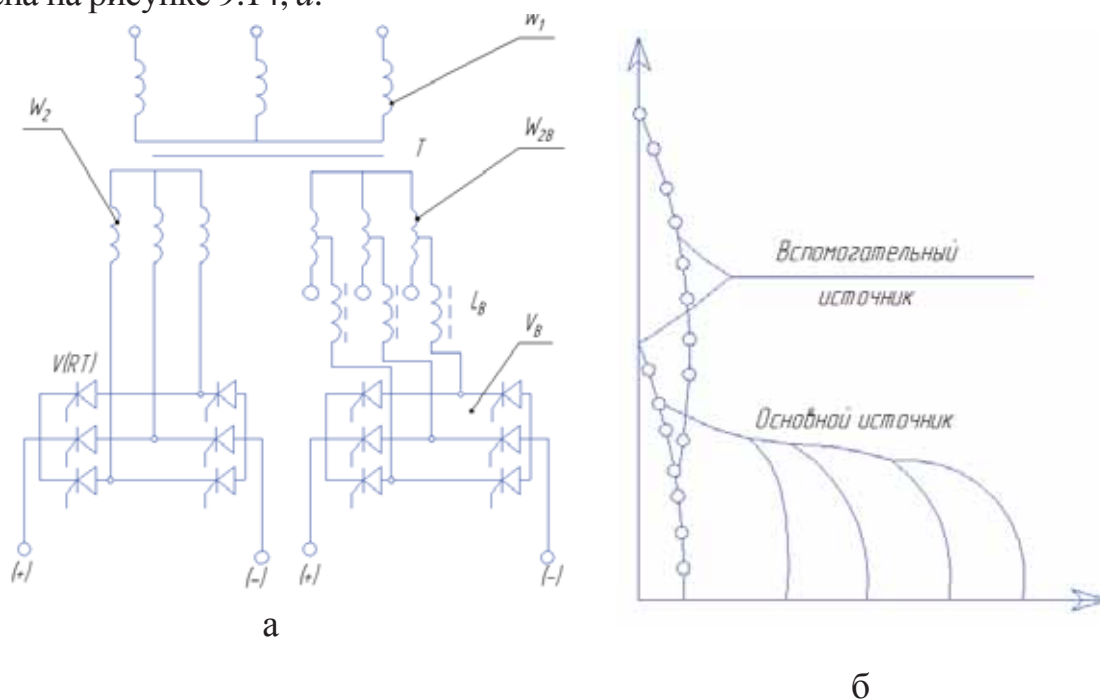


Рис. 9.14. Электрическая схема (а) и внешние характеристики (б) сварочных выпрямителей ВСВУ–ВСП

Трехфазный силовой трансформатор имеет одну первичную обмотку  $W_1$  и две вторичные  $W_2$  и  $W_{2B}$ . Обмотка  $W_2$  подключена к тиристорному выпрямителю  $V(RT)$ , выполняющему роль регулятора тока и имеющему пологопадающую вольтамперную характеристику. От вторичной обмотки  $W_{2B}$  напряжение подводится к диодному выпрямительному блоку  $V_B$ , образующему вспомогательный источник питания дуги с крутопадающей вольтамперной характеристикой с помощью дросселей  $L_B$ . Вспомогательный источник питания предназначен для зажига-

ния дуги, сварки на малых токах и др. В процессе сварки дуга питается одновременно от обоих источников. Совмещение двух источников питания позволило существенно снизить напряжение холостого хода основного источника и сформировать крутопадающие внешние характеристики в области рабочих токов (рис. 9.14, б). Источники питания используют для автоматической сварки вольфрамовым электродом.

Источники питания дуги типа ВСП предназначены для механизированной сварки плавящимся электродом и имеют пологопадающие внешние характеристики. Единая принципиальная схема источников обеих серий реализована в виде унифицированных блоков. В настоящее время эти выпрямители получили широкое распространение в промышленности.

**Выбор выпрямителей для разных способов сварки:** при выборе сварочного выпрямителя для разных способов сварки определяют вольтамперную характеристику дуги и рассчитывают параметры режима сварки. Далее на основании технических условий эксплуатации сварочных выпрямителей и заданных электрических параметров сварки выбирают сварочный выпрямитель требуемой мощности и с необходимым режимом его работы (продолжительный, перемежающийся или повторно-кратковременный), устанавливают соответствие вольтамперной характеристики дуги с внешней характеристикой источника питания дуги.

#### **9.4. СВАРОЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

Источниками постоянного тока для сварки наряду с выпрямителями являются сварочные генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую. Принцип действия электрического генератора основан на явлении электромагнитной индукции. **Электромагнитной индукцией** называют явление возникновения электродвижущей силы (э.д.с.) в проводнике при перемещении его в магнитном поле, пересекающем этот проводник. Значение возникающей э.д.с. зависит от скорости движения проводника, величины магнитного потока и длины проводника (число витков катушки).

Сварочный генератор постоянного тока состоит из статора с магнитными полюсами и якоря с обмоткой и коллектором. При работе генератора якорь вращается в магнитном поле, создаваемом полюсами статора. Обмотка якоря пересекает магнитные силовые линии полюсов генератора, и в ее витках возникает переменный ток, который с помощью коллектора преобразуется в постоянный. К коллектору прижаты угольные щетки, через которые постоянный ток подводится к выходным

зажимам. К этим зажимам присоединяют сварочные провода, идущие к электроду и изделию.

В сварочном генераторе э.д.с. наводится магнитными потоками, образующимися в самом генераторе:

$$E_{\Gamma} = C \times \Phi_{\Gamma}, \quad (9.9)$$

где  $C$  – постоянная генератора (зависит от конструкции);  $\Phi_{\Gamma}$  – суммарный магнитный поток.

Все генераторы имеют намагничивающие обмотки возбуждения  $W_{\text{H}}$ , питающиеся от независимого источника либо от самого генератора. В первом случае генераторы – с независимым возбуждением, во втором – с самовозбуждением. Намагничивающие обмотки имеют большое число витков (200–500), их выполняют из тонкого провода (диаметром 1,5–2,5 мм) и располагают на отдельных башмаках корпуса генератора. Намагничивающий ток  $I_{\text{H}}$  в этих обмотках невелик (2–20 А) и регулируется сопротивлением  $R$ .

При протекании намагничивающего тока в обмотке  $W_{\text{H}}$  в генераторе наводится намагничивающий магнитный поток:

$$\Phi_{\text{H}} = \frac{I_{\text{H}} \omega_{\text{H}}}{R_{\text{MH}}}, \quad (9.10)$$

где  $R_{\text{MH}}$  – сопротивление магнитной цепи;  $I_{\text{H}}$  – ток в намагничивающей обмотке;  $\omega_{\text{H}}$  – число витков в намагничивающей обмотке.

При холостом ходе э.д.с. генератора и напряжение  $U_0$  определяют по формуле

$$E_{\Gamma} = C \times \Phi_{\text{H}} = \frac{C \times I_{\text{H}} \times \omega_{\text{H}}}{R_{\text{MH}}} = U_0, \quad (9.11)$$

где  $C$  – постоянная генератора.

Изменением тока намагничивания осуществляется плавное регулирование напряжения холостого хода, а, следовательно, и режима работы генератора. Напряжение на зажимах генератора при нагрузке

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} - I_{\Gamma} \times R_{\Gamma}, \quad (9.12)$$

где  $I_{\Gamma}$  – ток в якорной цепи генератора;  $R_{\Gamma}$  – суммарное сопротивление в цепи генератора.

В генераторах имеется и последовательная обмотка возбуждения с малым числом витков (3–5). По этой обмотке, включенной последовательно с дугой, протекает ток, равный силе тока дуги. Магнитный поток, наводимый намагничивающей силой последовательной обмотки, возникает только при нагрузке генератора (при сварке). В зависимости от способа включения последовательной обмотки магнитный поток от нее направлен встречно или согласно с намагничивающим потоком  $\Phi_{\text{H}}$ .

При работе генератора его э.д.с. будет зависеть от суммарного потока  $\Phi_H \pm \Phi_{II}$

$$E_r = C \times (\Phi_H \pm \Phi_{II}), \quad (9.13)$$

где  $\Phi_{II}$  – магнитный поток последовательной обмотки.

За счет этого можно получить падающие или возрастающие внешние характеристики генераторов. Последовательная обмотка секционирована, включают либо все ее витки, либо половину. Этим можно ступенчато регулировать сварочные режимы на два диапазона. В пределах диапазонов режимы регулируют плавно путем изменения силы тока в намагничивающей обмотке возбуждения.

Сварочные генераторы выполняют по различным электрическим схемам. Они могут быть с падающей внешней характеристикой (генераторы ГСО в преобразователях типа ПСО-300, ПСО-500 и др.), с жесткой или пологопадающей характеристикой (типа ГСГ в преобразователях типа ПСГ-500) и универсальные (преобразователи ПСУ-300, ПСУ-500).

Наибольшее распространение получили сварочные генераторы с падающими внешними характеристиками, работающие по схемам (рис. 9.15):

- с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой;
- самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой. В первом случае генератор имеет обмотку независимого возбуждения  $W_K$ , питаемую от отдельного источника питания постоянного тока, и последовательную размагничивающую обмотку  $W_p$ , включенную в сварочную цепь последовательно с обмоткой якоря. Сила тока в цепи независимого возбуждения регулируется реостатом  $R$ . Магнитный поток  $\Phi_H$  создаваемый обмоткой  $W_H$  противоположен по своему направлению магнитному потоку  $\Phi_p$ , создаваемому обмоткой  $W_p$ . Результирующий поток предоставляет разность потоков

$$\Phi_{PE3} = \Phi_H - \Phi_p. \quad (9.14)$$

С увеличением силы тока в сварочной цепи будет увеличиваться поток  $\Phi_p$ , а поток  $\Phi_H$  остается неизменным. При этом  $\Phi_{PE3}$ ,  $E_r$  и напряжение на зажимах генератора будут падать, создавая падающую внешнюю характеристику генератора (рис. 9.16).



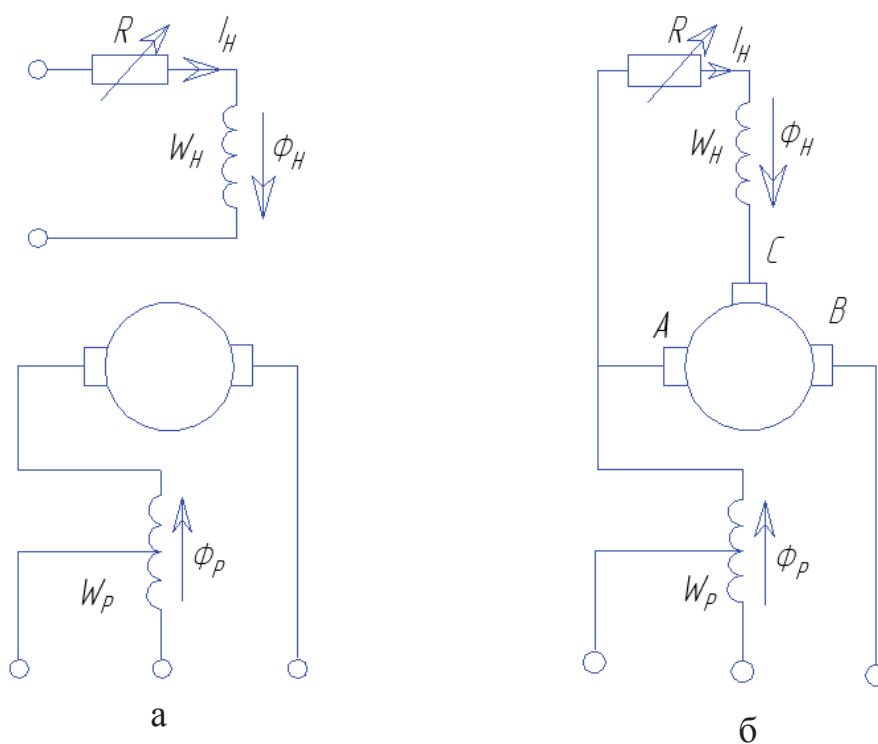


Рис. 9.15. Электрические схемы сварочных генераторов: а – с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой; б – с самовозбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой

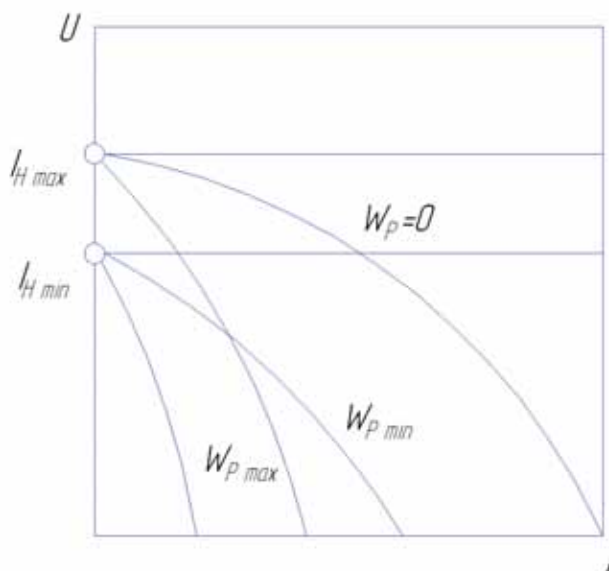


Рис. 9.16. Внешние характеристики генераторов с последовательной размагничивающей обмоткой

Сварочный ток в генераторах этой системы регулируется реостатом  $R$  и секционированием последовательной обмотки (см. рис. 9.15). По такой схеме работают генераторы ГСО-300, ГСО-500. Генераторы по второй

схеме отличаются от рассмотренных выше тем, что намагничивающая обмотка питается постоянным током от части обмотки якоря самого генератора. С этой целью на коллекторе между главными щетками А и В расположена дополнительная щетка С. При работе генератора напряжение между щетками А и С остается постоянным, что позволяет подключить к ним параллельно якорю намагничивающую обмотку возбуждения, создающую постоянный намагничивающий поток  $\Phi_H$ . Падающая внешняя характеристика создается действием последовательной размагничивающей обмотки, магнитный поток которой ( $\Phi_P$ ) направлен против магнитного потока  $\Phi_H$ . По такой схеме работают сварочные генераторы ГСО-330-М, ГСО-300-5 и др. Вращение якоря генератора может производиться с помощью электрического двигателя или двигателя внутреннего сгорания. Установку, состоящую из сварочного генератора и приводного трехфазного асинхронного электродвигателя, называют сварочным преобразователем, это, например, преобразователи ПСГ-5004, ПД-502 и др.

Установку, состоящую из сварочного генератора и приводного двигателя внутреннего сгорания, называют сварочным агрегатом. Агрегаты используют в основном для ручной сварки и резки в монтажных и полевых условиях, где отсутствуют электрические сети. Если требуется сварочный ток больше, который дает источник питания, можно применить параллельное соединение двух источников (и более) (сварочных генераторов, трансформаторов, режее сварочных выпрямителей). При включении источников на параллельную работу необходимо соблюдать следующие условия:

- напряжения холостого хода выбираемых источников питания должны быть одинаковыми;
- внешние характеристики источников должны быть однотипными (крутопадающие, пологопадающие или жесткие);
- сила сварочного тока источников питания дуги должна быть отрегулирована на одно и то же значение;
- для контроля напряжения холостого хода при настройке, а также для контроля за распределением силы тока при сварке необходимо установить вольтметры и амперметры, измеряющие напряжения и сварочный ток отдельных источников.

Рекомендуется соединять источники питания дуги одного типа или с одинаковыми номинальными данными. В общем случае при подключении все выходные зажимы соединяемых источников питания, имеющие одноименную полярность или одинаковую фазу, соединяют между собой, получая два общих зажима, от которых питается сварочная дуга.

### 9.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Многие специализированные источники питания дуги для сварки на переменном и постоянном токе комплектуют устройствами, облегчающими зажигание дуги. Наибольшее распространение получили мало-мощные (100–300 Вт) высокочастотные искровые генераторы, называемые осцилляторами, создающими токи высокого напряжения (2–5 кВ) и высокой частоты (150–250 кГц). Питание сварочной дуги токами высокой частоты и высокого напряжения параллельно с основным источником сварочного тока повышает устойчивость горения дуги и облегчает ее зажигание. Зажигание дуги обеспечивается даже без соприкосновения электрода с изделием, что особенно необходимо при сварке вольфрамовым электродом в защитном газе. При подаче импульсов тока от осциллятора на промежуток между изделием и электродом происходит пробой промежутка и появление в нем свободных электронов, создавая условия для горения дуги, питаемой от основного источника тока. Ток высокой частоты и напряжения безопасен для человека. С источниками питания постоянного тока осцилляторы применяют для первоначального возбуждения дуги, а переменного – как для первоначального возбуждения дуги, так и для ее возобновления после смены полярности (после перехода синусоиды тока через нуль), т.е. для поддержания устойчивого горения дуги. Осцилляторы в основном используют при сварке дугой малой мощности, при аргонодуговой сварке, при сварке тонколистового металла, при пониженном напряжении холостого хода источника сварочного тока.

**Стабилизаторы** поддерживают устойчивое горение сварочной дуги при сварке переменным током плавящимся электродом путем подачи на дугу в начале каждого периода повышенного импульса напряжения, фактически повторно зажигая дугу в моменты перехода тока через нулевое значение.

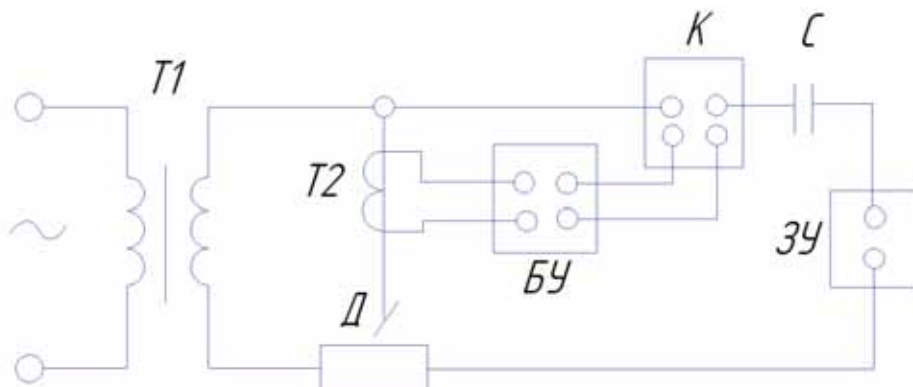


Рис. 9.17. Схема включения стабилизатора дуги СД-2

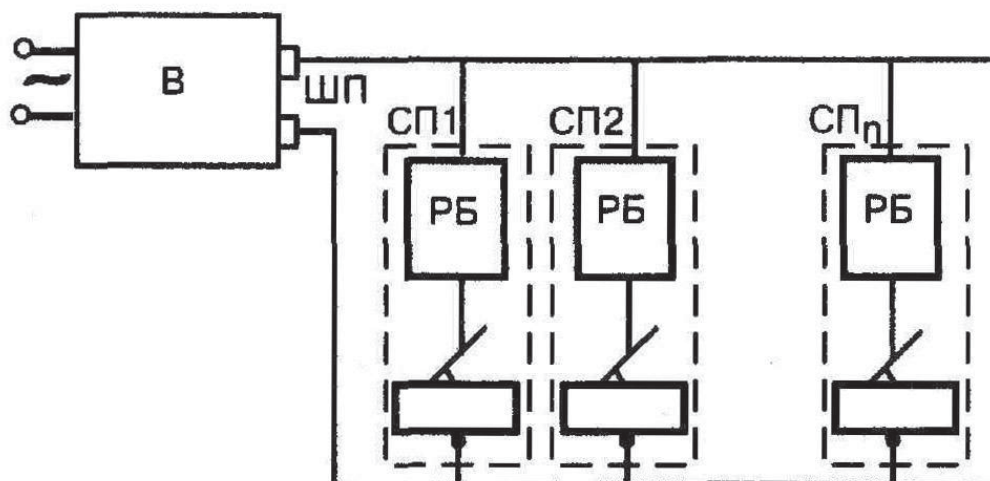
Стабилизатор СД-2 (рис. 9.17) состоит из зарядного устройства (ЗУ), конденсатора (С), трансформатора тока (Т2), контактора (К) и блока управления (БУ). Конденсатор заряжается от зарядного устройства и в момент перехода сварочного тока через нулевое значение разряжается на дуговой промежуток (Д), стабилизируя дуговой разряд. Стабилизатор представляет собой отдельный блок и подключается к вторичной обмотке сварочного трансформатора (Т1).

Для возбуждения и стабилизации горения дуги при ручной аргонодуговой сварке алюминия и его сплавов неплавящимся электродом на переменном токе применяется также возбудитель-стабилизатор ВСД-01. Он обеспечивает стабильное горение дуги при длине дугового промежутка до 6 мм и устойчивое возбуждение дуги при зазоре между электродом и изделием 2 мм. В источниках питания дуги широко используют регуляторы плавного снижения сварочного тока в конце сварки. Это необходимо для заварки кратера сварного шва при его завершении.

### **9.6. МНОГОПОСТОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДУГИ**

При необходимости размещения значительного количества сварочных постов на ограниченной производственной площади целесообразно применять более мощные источники питания. Такие источники обеспечивают работу нескольких постов одновременно через общий шинопровод, подключенный к выходным зажимам источника. Такие источники называют **многопостовыми** источниками питания дуги. Основное требование, предъявляемое к многопостовым источникам питания дуги, – обеспечение устойчивой работы каждого подключенного к нему поста как в установившемся, так и в переходных режимах независимо от воздействия других постов. Эта независимость постов обеспечивается неизменностью напряжения холостого хода вдоль шинопровода для каждого поста. Многопостовое питание часто используют для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, автоматической сварки под флюсом и механизированной сварки в среде углекислого газа. При многопостовом питании каждый сварочный пост подключается к шинопроводу через отдельное постовое (балластное) сопротивление. Схема подключения показана на рисунке 9.18.

Многопостовой источник (В) обслуживает  $n$  сварочных постов (СП1–СП $n$ ) через общий шинопровод (ШП). Каждый сварочный пост подключен к шинопроводу через балластное сопротивление (РБ), с помощью которого производят регулирование силы сварочного тока и получение падающей вольтамперной характеристики для сварки.



*Рис. 9.18. Схема подключения сварочных постов к многопостовому источнику питания дуги*

Для ручной дуговой сварки и сварки под флюсом выходное напряжение источника питания дуги обычно не изменяют. Многопостовые источники для сварки в углекислом газе отличаются тем, что в них имеется несколько выходных шинопроводов на разные напряжения холодного хода. Каждый сварочный пост в этом случае подключают к соответствующему шинопроводу с соответствующим напряжением.

В многопостовых выпрямителях большое внимание уделено использованию защитных устройств от перегрузки. Для сварки покрытыми электродами применяют выпрямители ВКСМ-1000, ВДМ-1601 с балластными реостатами РБ-500. Для сварки в среде углекислого газа используют выпрямители ВМГ-5000 с реостатами РБГ-502. Используют также многопостовые генераторы постоянного тока (ГСО-500) и трансформаторы.

### **9.7. ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ КАК ЭНЕРГО И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ ФАКТОР В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

В настоящее время на всех предприятиях России одна из важнейших проблем – это проблема энерго- и ресурсосбережения. Она связана, в том числе, и со сварочными работами. Современное сварочное оборудование, построенное на базе инверторных источников, в отличие от традиционных диодных выпрямителей, позволяет получить не только качественную сварку, но и существенную экономию электродного металла, в результате снижения величины разбрызгивания, экономию электроэнергии в результате высокого КПД и высокого коэффициента мощности.

Проведенные сравнительные исследования по стабильности процесса сварки, величине потерь на разбрызгивание, величине тепловложения, потреблению электроэнергии позволили сравнить наиболее применяемый источник питания ВД-306 и инверторный источник питания нового поколения Nebula-315. Технические характеристики, которых представлены в таблице 9.4.

Таблица 9.4

*Технические показатели источников питания дуговой сварки  
плавлением*

Параметр	ВД-306	Nebula-315
Максимальный ток, А	315	315
Максимальная мощность в нагрузке (P2), кВт	9,77	11,0
КПД, %, не менее	70	90
Потребляемая мощность при максимальной нагрузке, кВА	24	12,5

Стабильность процесса сварки оценивали по осциллограммам тока и напряжения, полученных с помощью регистратора параметров сварки AWR524 (рис. 9.19).

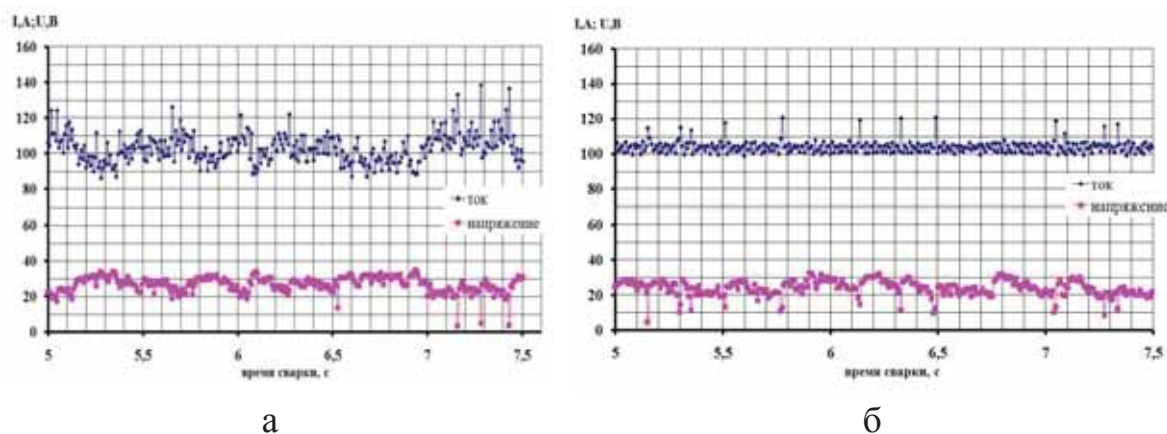


Рис. 9.19. Осциллограммы токов и напряжения (электроды марки LB 52U диаметром 3,2 мм): а – источник питания электронный инвертор Nebula -315; б – источник питания диодный выпрямитель ВД-306

В результате анализа осциллограмм от инвертора и диодного выпрямителя установлено различие энергетических параметров процесса сварки во время образования и переноса капли электродного металла. При сварке инверторным источником амплитуда тока изменяется в пре-

делах 100...120 А, а при сварке диодным выпрямителем – в пределах 80...140 А при том же значении среднего сварочного тока. Следовательно, изменяется тепловое воздействие дуги на каплю электродного металла.

Для расчета энергии дуги от различных источников питания, вложенной в каплю электродного металла, использовали осциллограммы тока и напряжения дугового промежутка. По значениям тока и напряжения в ключевых точках провели сравнительный анализ теплового воздействия сварочного тока на каплю электродного металла при сварке от диодного выпрямителя и инвертора. Для расчета теплоты, вводимой в каплю, применили закон Джоуля-Ленца с учетом энергии, переходящей в каплю

$$Q = 0,24 \cdot I \cdot U \cdot t, \text{ Дж.} \quad (9.15)$$

Используя данные осциллограмм, расчет введенной теплоты можно провести двумя методами: графоаналитическим и аналитическим.

Графоаналитический метод в качестве исходных данных берет дискретные значения осциллограмм для расчета по уравнению

$$Q = 0,24 \cdot \sum_{n=1}^m I \cdot U \cdot t, \quad (9.16)$$

где  $t$  — число значений.

Для решения задачи этим методом требуется использовать множество значений тока и напряжения во времени.

Аналитический метод учитывает погрешности экспериментального оборудования и пилообразную кривую, отражающую сварочный ток во время образования и перехода капли в сварочную ванну. Изменения тока и напряжения можно представить как линейные и с высокой степенью точности считать отрезками прямой линии. Переломные моменты тока и напряжения синхронизированы во времени. Энергию, затрачиваемую на плавление электродного металла в единицу времени, можно определить по уравнению:

$$Q(t) = 0,24 \sum_{i=0}^{i=n} \int_{t_n}^{t_{n+1}} I_n(t) \cdot U_n(t) \cdot t \cdot dt. \quad (9.17)$$

Расчеты, выполненные аналитическим методом, показывают, что при сварке от инверторного источника питания энергия, затрачиваемая на плавление электродного металла за 1 секунду, в среднем составляет  $Q_k = 1,0870 \times 10^7$  Дж, а при сварке от диодного выпрямителя –  $Q_k = 1,2061 \times 10^7$  Дж. энергии. Подтверждают расчетные значения и проведенные исследования химического состава сварного шва (табл. 9.5, 9.6). Полученные отличия можно объяснить тем, что тип источника питания

ограничивает ток короткого замыкания (рис. 9.19), в результате этого происходит меньшее выгорание легирующих элементов.

Таблица 9.5

*Химический состав сварного шва выполненного из трубы Ø159×6 (сталь 09Г2С) электродами марки LB 52U*

Тип источника питания	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
ВД-306	0,10	0,52	1,03	0,010	0,014	0,03	0,05	0,03
Nebula-315	0,09	0,60	1,23	0,010	0,014	0,03	0,06	0,03

Таблица 9.6

*Химический состав сварного шва выполненного из образцов из стали 45 электродами марки УОНИ 13/55*

Тип источника питания	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Cu
ВД-306	0,11	0,30	0,92	0,019	0,06	0,05	0,09
Nebula-315	0,12	0,31	1,00	0,02	0,06	0,06	0,10

Стабильность процесса сварки оказывает влияние и на величину разбрызгивания электродного металла. Известно, что чем больше сила тока короткого замыкания, тем больше величина разбрызгивания, то есть если источник питания обеспечивает отношение  $I_{к.з.}/I_{д} \rightarrow 1$ , то он обеспечивает меньшую величину разбрызгивания. Для подтверждения этого были проведены исследования, по результатам которых получена зависимость между типом источника питания и величиной потерь на разбрызгивание электродного металла.

Проведенное исследование позволило получить зависимость между типом источника питания и величиной потерь на разбрызгивание электродного металла. Анализ гистограммы (рис. 9.20) показывает, что инверторный источник питания Nebula-315 обеспечивает значительно меньшую величину разбрызгивания по сравнению с диодным выпрямителем, тем самым способствует снижению потерь электродного метал-



ла, что приводит к более эффективному использованию покрытых электродов.

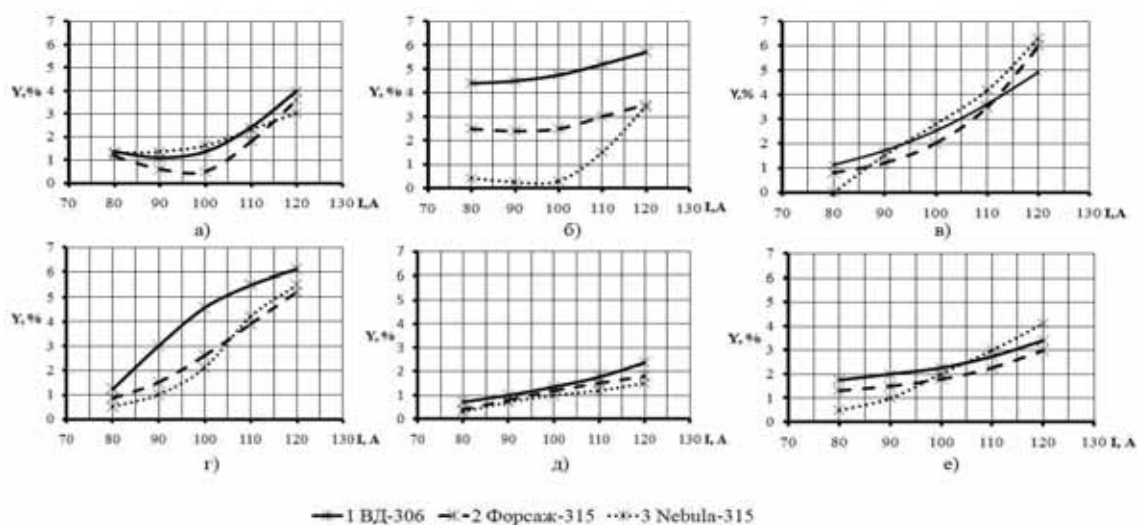


Рис. 9.20. Влияние силы тока на величину разбрызгивания электродного металла при РДС покрытыми электродами диаметром 3мм:  
 а – ОК 53.70 (ЭСАБ) (основное покрытие); б – LB-52U (основное покрытие);  
 в – УОНИ 13/55 (ЭСАБ) (основное покрытие); г – ОЗС 4 (ильменитовое покрытие); д – МР-3 (ЭСАБ) (рутиловое покрытие);  
 е – МР-3 (рутиловое покрытие)

Немаловажным фактором при РДС является ширина зоны термического влияния, где происходят структурные изменения металла под воздействием температур нагрева. Чем меньше ЗТВ, тем выше работоспособность сварного соединения. Как было отмечено выше, источники питания обеспечивают различное вложение тепловой энергии.

Для получения полной картины распределения температурных полей осуществляли ручную дуговую наплавку валика покрытыми электродами марки LB-52U на пластину 100x150 мм толщиной 6 мм из стали Ст3. В качестве источника питания использовался цифровой инвертор Nebula-315 и сварочный выпрямитель ВД 306У3. Регистрацию полей осуществляли с помощью тепловизора ThermoCAM P65HS фирмы FLIR. Съёмку проводили на протяжении времени сварки одного прохода с частотой 5 кад/сек. В результате проведения эксперимента и после обработки исходных термограмм в математическом пакете MATLAB в виде набора m-файлов получили изображения температурных полей процесса нагрева (рис. 9.21).

Анализ термограмм (рис. 9.21) температурных полей и макроструктур сварного соединения показал, что при сварке от цифрового инверторного источника, по сравнению с диодным выпрямителем, происходит уменьшение ширины зоны теплового вложения и ширины ЗТВ

на 16–20 % и уменьшение размера зерен в ЗТВ (от крупнозернистой структуры – ВД 306 до мелкозернистой – Nebula-315).

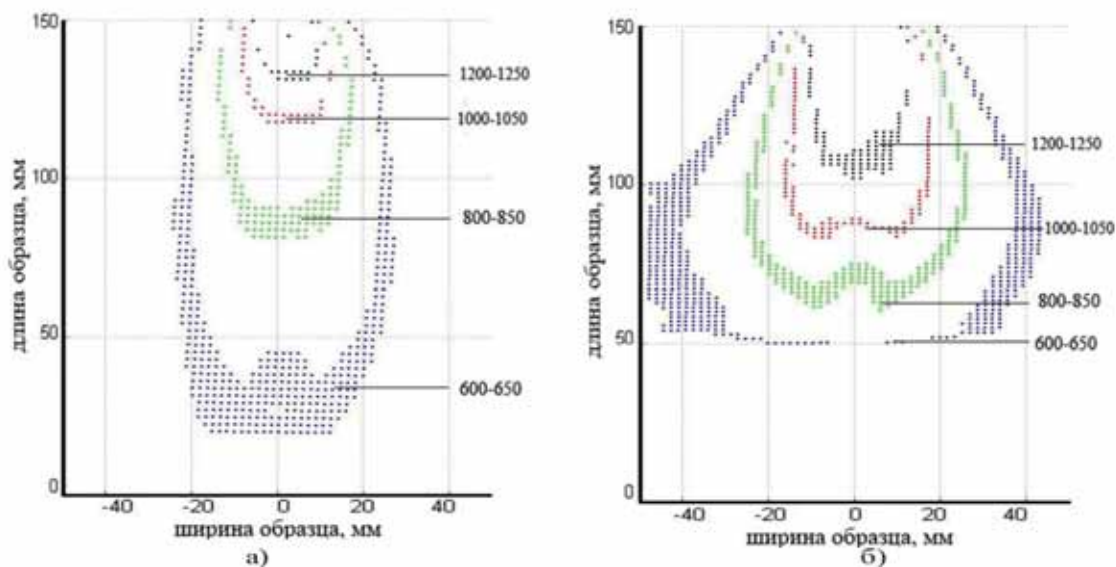


Рис. 9.21. Температурные поля после обработки (сварочный ток 100А, напряжение 25В, скорость сварки 13...14 см/мин): а – инвертор; б – диодный выпрямитель

Для сравнения влияния типа источника питания на механические свойства сварного соединения были проведены исследования. Результаты представлены на рисунках 9.22–9.24.

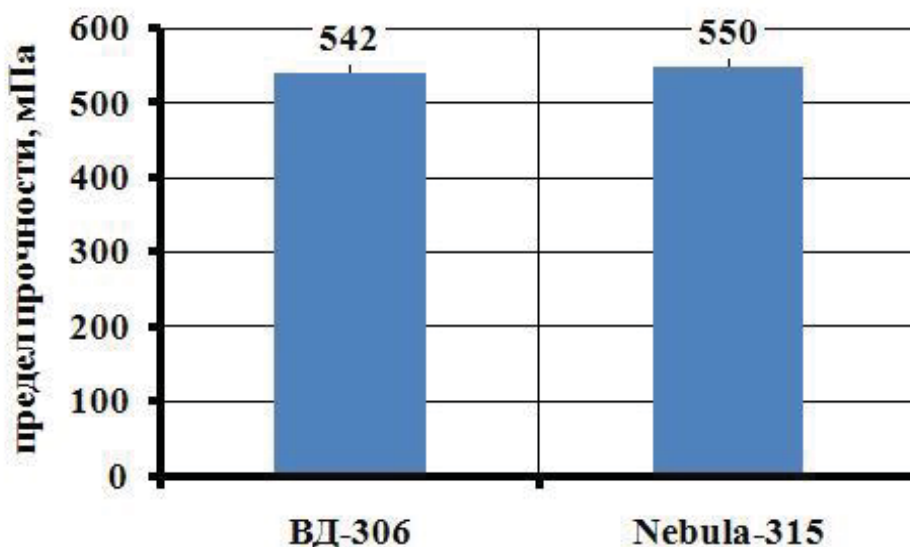


Рис. 9.22. Влияние типа источника питания на предел прочности при растяжении сварных соединений из трубы 159х6, сталь 09Г2С, электроды: корень – LB-52U (d=2,6 мм); заполнение: LB-52U (d=3,2мм)

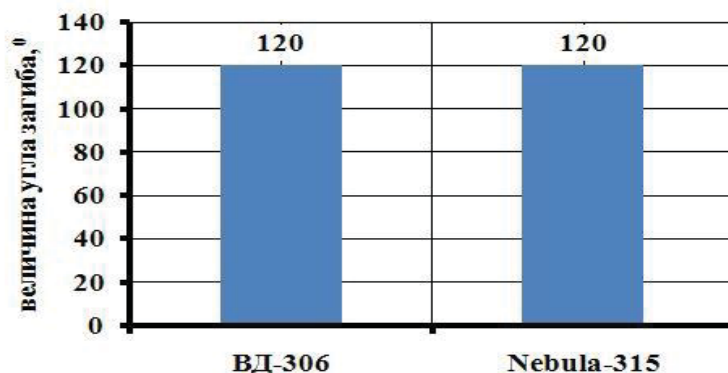


Рис. 9.23. Влияние типа источника питания на величину угла загиба (наружу, вовнутрь и на ребро) сварных соединений из трубы 159х6, сталь 09Г2С, электроды: корень – LB-52U ( $d=2,6$  мм); заполнение: LB-52U ( $d=3,2$  мм)

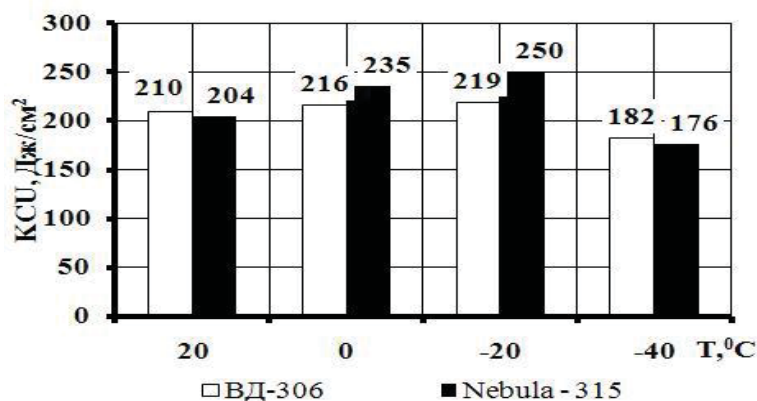


Рис. 9.24. Влияние типа источника питания на ударную вязкость KCU (сталь 09Г2С, электроды марки LB-52U)

Различные технические характеристики источников питания и осциллограммы процессов сварки (рис. 9.19) позволяют предположить и различное потребление электрической энергии. Для проверки этого предположения по известной методике был произведен расчет ориентировочной стоимости электроэнергии потребляемой за год работы на одном сварочном посту в режиме ручной сварки электродом. При расчетах было условно принято количество рабочих дней в году – 248, время непрерывной работы источника – 60 %, что соответствует 1190 часам, а стоимость 1 кВА/час – 2,5 руб.

Получается, что при покупке инверторного источника мы тратим на 35110 руб. больше, но за один год односменной работы мы экономим на электроэнергии 20538 руб. на один пост (см. табл. 9.7). Количество же сварочных постов на промышленных предприятиях от 10 до 50 штук – так что годовая экономия электроэнергии становится довольно ощутимой.

Таблица 9.7

*Экономические показатели источников питания дуговой сварки  
плавлением*

Оборудование	Стоимость, руб.	Потребляемая мощность, кВа	Стоимость электроэнергии за 1 год работы, руб.
Выпрямитель ВД-306	24890	24	42850
Инвертор Nebula-315	60000	12,5	22312

По результатам проведенных исследований установлено, что сварочные инверторные источники обеспечивают высокое качество сварки (более стабильный процесс, меньшая величина разбрызгивания, уменьшение зоны термического влияния), а это приводит к снижению себестоимости изготовления изделия за счет уменьшения операций по зачистке швов, экономии сварочного материала и экономии электроэнергии. Таким образом, можно утверждать, что источник питания – энерго- и ресурсосберегающий фактор в сварочном производстве.

### ВОПРОСЫ

1. Какие основные требования предъявляют к источникам питания сварочной дуги?
2. Какая разница между силовым и сварочным трансформаторами?
3. Что называют внешними вольтамперными характеристиками источников питания дуги? Как они подразделяются?
4. Назначение осциллятора, его устройство.
5. Что называют сварочным преобразователем? Как он устроен?
6. Какую роль играет реостат балластный?
7. В чем преимущества и недостатки многопостовых источников питания дуги?
8. Как подбирают источники питания дуги по способу сварки и основным режимам?
9. Какова взаимосвязь характеристик дуги и источника питания дуги при устойчивом процессе сварки?
10. Какое напряжение холостого хода допустимо для сварочных источников питания дуги?

## ГЛАВА 10. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ

### 10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

При автоматических и механизированных способах сварки помимо источников питания дуги необходимо иметь специальное оборудование, позволяющее исключить ручное ведение сварочного процесса. При этом требуется механизировать выполнение двух основных технологических движений: подачу электрода в зону сварки и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок. Если при сварочном процессе оба эти движения осуществляются механизированным путем, то такой процесс рассматривается как автоматическая сварка. Если одно из движений – подача электрода в зону сварки – осуществляется механизированным способом, а другое движение – перемещение дуги вдоль свариваемых кромок – осуществляется вручную, то такой процесс рассматривается как механизированная (полуавтоматическая) сварка. Если оба движения выполняются вручную сварщиком, то такой процесс является ручной дуговой сваркой. Сварочные аппараты, обеспечивающие автоматическое выполнение основных технологических перемещений электрода и дуги с поддержанием постоянства заданных параметров сварочного режима (напряжения дуги, сварочного тока, скорости сварки), называют **автоматами**.

Основной частью автоматов является сварочная головка, представляющая собой электромеханическое устройство, осуществляющее автоматическую подачу в зону дуги плавящегося электрода или присадочного металла. Сварочную головку, закрепленную неподвижно относительно изделия, называют **подвесной автоматической** головкой. В подвесных головках отсутствует механизм перемещения самой головки. В этом случае относительно дуги перемещают объект сварки с помощью вспомогательного устройства или сварочного приспособления. Если же в конструкции сварочного аппарата имеется механизм для перемещения головки, то ее называют **самоходной**. Перемещение самоходной головки обычно производится по специальной направляющей. Такой аппарат называют **автоматом подвесного типа**. Если в конструкции автомата тележка с укрепленной на ней головкой может перемещаться непосредственно по свариваемому изделию, то такой автомат называют сварочным трактором (рис. 10.1).

В основе классификации автоматов используются различные признаки: тип электрода, способ перемещения, характер защиты и др.

По типу применяемого электрода автоматы подразделяют на автоматы с плавящимся электродом и автоматы с неплавящимся (вольфрамовым) электродом.

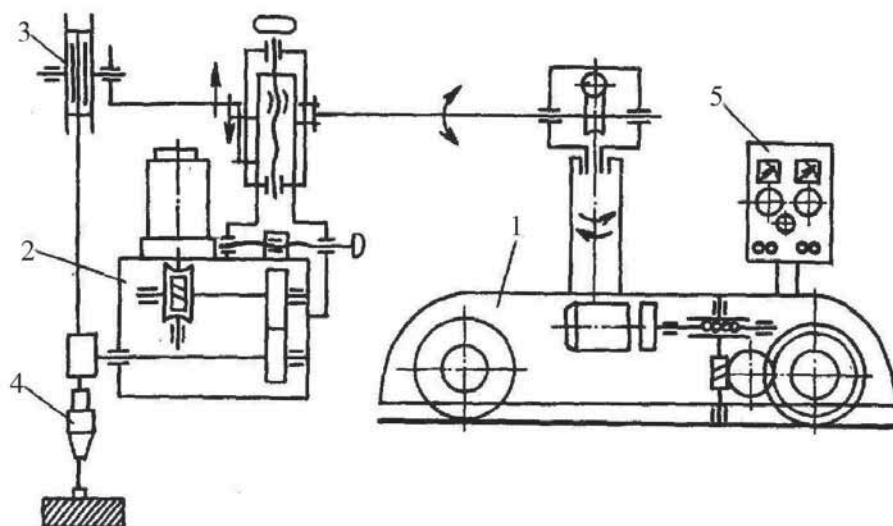


Рис. 10.1. Схема для сварки плавящимся электродом: 1 – тележка; 2 – подающий механизм; 3 – кассета с электродной проволокой; 4 – горелка; 5 – пульт управления

По способу перемещения тележки различают автоматы тракторного типа и кареточные.

По способу защиты сварочной ванны различают автоматы для сварки под флюсом, в среде защитных газов и универсальные.

По пространственному выполнению сварных соединений различают автоматы для сварки швов в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях; кольцевых поворотных и неповоротных стыков и кольцевых – в горизонтальной плоскости.

По способу поддержания постоянства параметров дуги выпускают автоматы с принудительным регулированием дуги и саморегулированием.

По числу горящих дуг различают автоматы для сварки одной дугой, двумя дугами и трехфазной дугой.

Широкое применение получили автоматы для сварки вольфрамовым электродом АДСВ-5, АСГВ-4, АРК-3, для сварки плавящимся электродом – ТС-35, АДС-1000, АДПГ-500 и др.

## **10.2. КОМПЛЕКТОВАНИЕ И ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ СВАРОЧНЫХ АВТОМАТОВ**

Сварочные автоматы комплектуются из следующих основных узлов: сварочной головки, тележки, пульта управления, аппаратного шкафа, кассет со сварочной проволокой.

Основными элементами сварочной головки являются, механизм подачи проволоки, подающие ролики, токоподводящий мундштук и устройства для установочных перемещений головки.

Механизм подачи состоит из электродвигателя и редуктора. При использовании электродвигателей переменного тока применяют регулируемые редукторы. Электродвигатели постоянного тока могут работать в сочетании с нерегулируемыми редукторами. Подающие ролики расположены на выходных валах редуктора. Их назначение – стабильная подача сварочной проволоки без проскальзывания. Обычно это достигается при использовании двух пар подающих роликов. К корпусу редуктора крепится токоведущий мундштук для обеспечения электрического контакта и направления проволоки в сварочную ванну. Мундштук должен обеспечивать минимальное блуждание торца электрода относительно сварочной ванны. Для этого иногда на головку перед мундштуком устанавливают роликовый правильный механизм для правки проволоки. Кроме того, в мундштуке должен обеспечиваться надежный электрический контакт со сварочной проволокой. Конструкции мундштуков различны в зависимости от способа сварки, диаметра и жесткости проволоки. Для сварки электродной проволокой большого диаметра (3–5 мм) наибольшее распространение получили мундштуки с роликовым, скользящим контактом. При использовании проволок меньшего диаметра (0,8–2,5 мм) применяют трубчатые мундштуки. Скользящий контакт поддерживается за счет сменных наконечников мундштука. Применяют также мундштуки колодочного типа, состоящие из двух подпружиненных колодок, и мундштуки сапожкового типа (рис. 10.2).

Конструкция подвески сварочной головки должна обеспечивать возможность ее установочных перемещений: вертикальное – для установления необходимого вылета электрода или угла наклона его относительно свариваемого стыка; поперечное – для установки торца электрода по центру стыка в начале и корректировки его в процессе сварки.

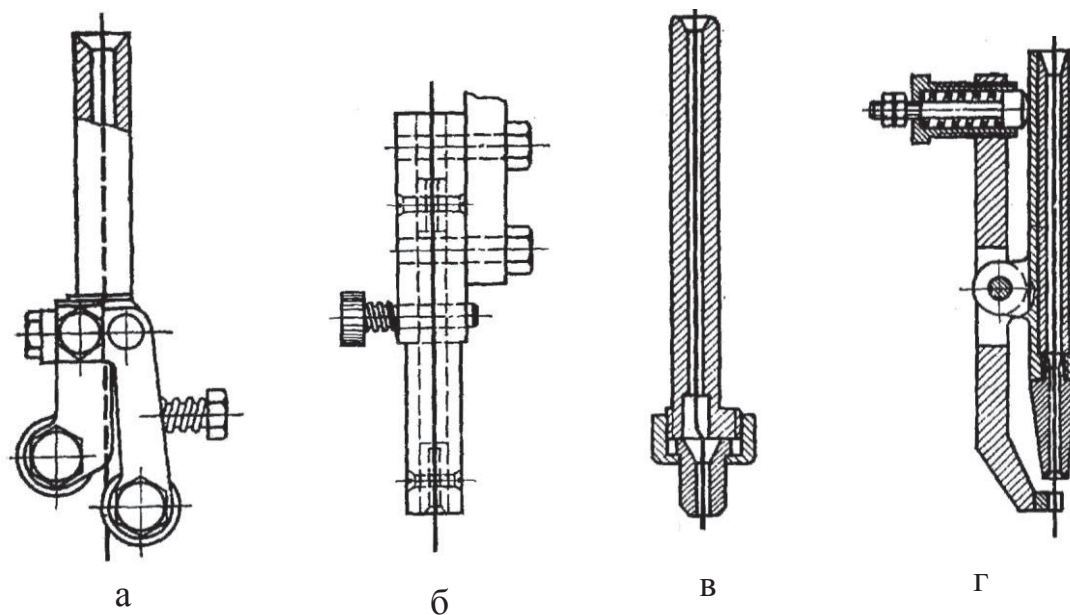


Рис. 10.2. Токоподводящие мундштуки для автоматов: а – роликовый; б – трубчатый; в – колодочный; г – сапожковый

Тележка предназначена для перемещения головки вдоль свариваемого стыка. В большинстве автоматов тележка выполняет роль базового элемента. На ее корпусе устанавливают сварочную головку, кассету для проволоки и пульт управления автоматом. Тележка должна обеспечивать плавность хода в широком диапазоне скоростей сварки. Различают тележки тракторного и кареточного типов. Тележка тракторного типа перемещается с помощью бегунковых колес либо по направляющим рельсам, либо непосредственно по свариваемому изделию. Тележка кареточного типа перемещается только по направляющим стапеля или устройства крепления самого автомата. Конструкция направляющих элементов зависит от формы свариваемого стыка. Для сварки продольных прямолинейных швов часто применяют консольные направляющие. Автоматы консольного типа универсальны. Их можно использовать и для сварки поворотных кольцевых швов. Применяются также направляющие портального типа, смещенные относительно изделия и установленные непосредственно на приспособлениях с закрепленными в них изделиями. В автоматах для сварки неповоротных кольцевых стыков каретка перемещается по направляющим, имеющим форму окружности. Для перемещения каретки применяют механизмы с бегунковыми колесами, зубчатыми рейками, ходовыми винтами. Тележки автоматов перемещаются с помощью электродвигателей через редуктор. В автоматах с электроприводом постоянного тока скорость перемещения тележки регулируется изменением частоты вращения двигателя. В приводах



переменного тока настройку скорости тележки осуществляют сменными шестернями в редукторе.

В зависимости от способов сварки сварочные автоматы могут снабжаться дополнительными устройствами. Так, при сварке под флюсом сварочные автоматы имеют специальную флюсовую аппаратуру, предназначенную для подачи флюса в зону сварки, удержания его на поверхности шва во время сварки и уборки его по окончании процесса. Такие устройства выполняются в виде съемных бункеров, в которые флюс засыпается и подается самотеком в место сварки в ходе выполнения сварного шва. Иногда применяют специальные флюсоподающие и убирающие аппараты, работающие с помощью сжатого воздуха.

В автоматах для сварки в защитных газах вместо обычного токоподводящего мундштука используется специальная сварочная горелка, в которой помимо токоподвода имеются устройства для подачи защитного газа в зону сварки и принудительного охлаждения горелки от перегрева.

### **10.3. ГАЗОВАЯ АППАРАТУРА, ПРИМЕНЯЕМАЯ В АВТОМАТАХ ДЛЯ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ**

Для выполнения автоматической и механизированной сварки в защитных газах необходимо применение специальной газовой аппаратуры для управления подачей газа. К газовой аппаратуре относят баллоны для хранения газов, газовые редукторы, подогреватели и осушители газа, расходомеры, смесители газов, электромагнитные газовые клапаны.

**Баллоны** (рис. 10.3) предназначены для хранения и транспортировки защитного газа под высоким давлением.

Наибольшее применение имеют баллоны емкостью 40 дм<sup>3</sup>, размеры и масса которых приведены в таблице 10.1.

Все газы, кроме углекислого, находятся в баллонах в сжатом состоянии, а углекислый газ – в жидком.

**Редуктор** (рис. 10.4) предназначен для понижения давления газа, поступающего в него из баллона или распределительного трубопровода, и автоматического поддержания постоянным заданного рабочего давления. Давление газа в баллоне показывает манометр высокого давления, проходит через приоткрытый пружиной клапан и поступает в камеру низкого давления. При прохождении через клапан газ преодолевает значительное сопротивление, в результате чего давление за клапаном, т.е. в камере низкого давления, снижается. Это давление показывает манометр низкого давления. Из камеры низкого давления защитный газ через вентиль направляется в сварочную головку (держатель).

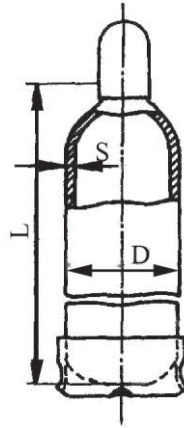


Рис. 10.3. Стальной газовый баллон

Таблица 10.1

Размеры и масса баллонов емкостью 40 дм<sup>3</sup>

Емкость баллона, л	100 и 150	150 и 200	200
Толщина стенки S, мм	5,2	7	9,3
Длина корпуса L, мм	1340	1390	1460
Наружный диаметр D, мм	219	219	219
Масса, кг	43	60	81

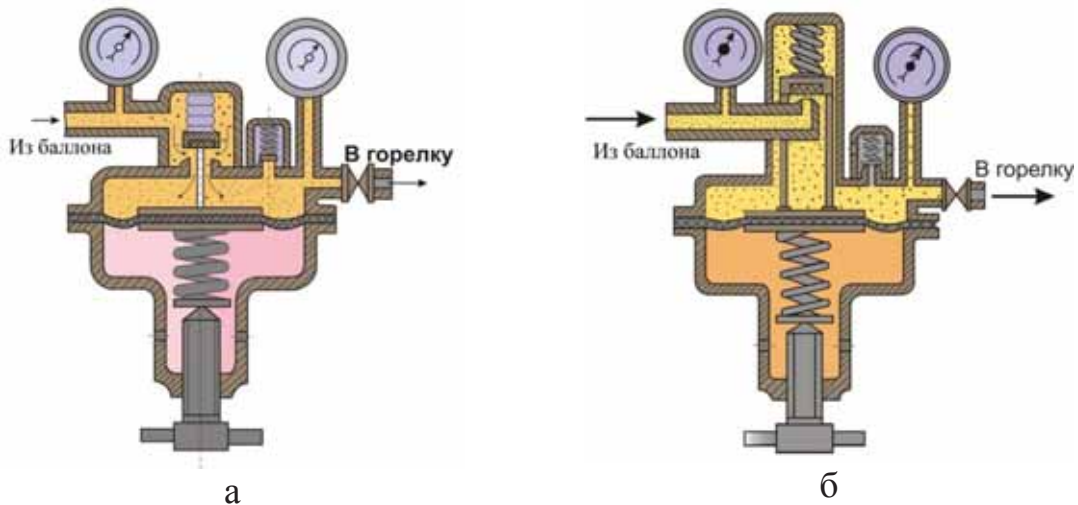


Рис. 10.4. Устройство и принцип работы газового редуктора:  
а – обратного действия; б – прямого действия

Регулирование рабочего давления защитного газа производится следующим образом. При ввертывании регулировочного винта сжимаются пружины, открывается клапан и давление в камере низкого давления повышается. Чем больше открыт клапан, тем большее количество газа будет проходить через него и тем выше будет рабочее давление газа. При вывертывании винта, наоборот, клапан прикрывается и давление

газа в камере уменьшается. Автоматическое поддержание рабочего давления в редукторе постоянным происходит таким образом. С уменьшением расхода газов в баллоне давление его в камере низкого давления будет возрастать и он с большей силой будет давить на мембрану, которая отойдет вниз и сожмет пружину. При этом пружина прикроет клапан и будет держать его в таком положении до тех пор, пока давление в камере не станет вновь равным первоначальному. Наоборот, с увеличением расхода газа его давление в камере низкого давления уменьшается, мембрана под действием пружины перемещается вверх и открывает клапан. Таким образом, автоматически регулируется подача газа из камеры высокого давления в камеру низкого давления и тем самым поддерживается постоянным рабочее давление. При случайном давлении свыше допустимого в камере низкого давления откроется предохранительный клапан и сжатый газ выйдет в атмосферу.

При сварке в аргоне применяют редукторы АР-10, АР-40 или АР-150. При сварке в углекислом газе или в его смесях используют редукторы обратного действия, одновременно являющиеся расходомерами (У-30 и ДЗД-1-59М). Возможно применение также обычных кислородных редукторов, например РК-53, РКД-8-61 и др.

Подогреватель (рис 10.5) предназначен для подогрева углекислого газа, поступающего из баллона в редуктор, с целью предотвращения замерзания редуктора.

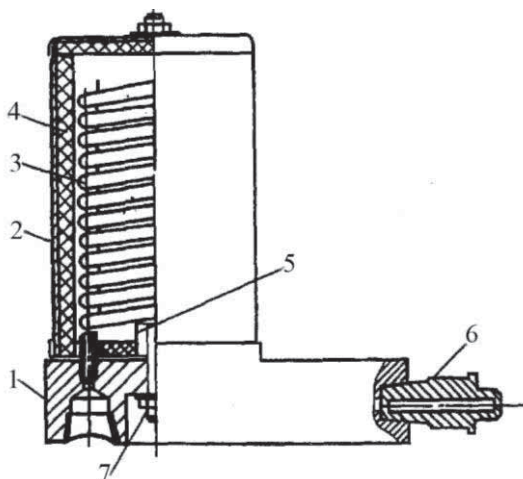


Рис. 10.5. Подогреватель углекислого газа

При большом расходе углекислого газа (вследствие поглощения теплоты при испарении жидкого углекислого газа) температура газа понижается, что может привести к замерзанию имеющейся в нем влаги и закупорке каналов редуктора. Подогреватель используют только при сварке в углекислом газе. Он состоит из корпуса 1, трубки-змеевика

3, по которой проходит углекислый газ, кожуха 2, теплоизоляции 4 и нагревательного элемента 5 из хромоникелевой проволоки, расположенного внутри змеевика. Подогреватель крепят к баллону накидной гайкой 6. Питание его осуществляется постоянным током напряжением 20 В или переменным током напряжением 36 В. Провода от шкафа управления присоединяют к зажимам 7.

**Осушитель**, применяемый при использовании влажного углекислого газа для поглощения из него влаги, может быть высокого и низкого давления. Осушитель высокого давления устанавливают перед понижающим редуктором. Он имеет малые размеры и требует частой замены влагопоглотителя, что неудобно в работе. Осушитель низкого давления (рис. 10.6), имеющий значительные размеры, устанавливают после понижающего редуктора. Он не требует частой замены влагопоглотителя. Осушители низкого давления целесообразно применять главным образом при централизованной газовой разводке. В качестве влагопоглотителя используют силикагель или алюмогликоль, реже – медный купорос и хлористый кальций. Силикагель и медный купорос, насыщенный влагой, поддаются восстановлению путем прокаливания при 250–300 °С.

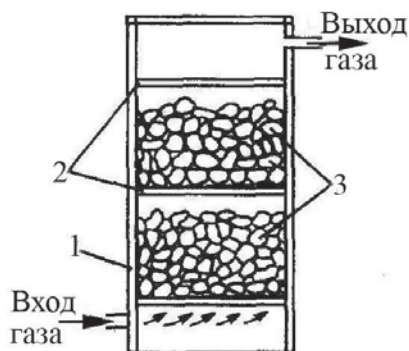


Рис. 10.6. Осушитель углекислого газа: 1 – камера; 2 – решетка; 3 – влагопоглотитель

**Расходомеры** предназначены для измерения расхода защитного газа. Они могут быть поплавкового и дроссельного типов. Расходомер поплавкового типа – ротаметр (рис. 10.7, а) – состоит из стеклянной трубки 1 с коническим отверстием. Трубка располагается вертикально, широким концом отверстия вверх. Внутри трубки находится легкий поплавок 2, который может свободно в ней перемещаться. При прохождении снизу вверх газ будет поднимать поплавок до тех пор, пока зазор между ним и стеклянной трубкой не достигнет величины, при которой напор струи газа уравновешивает массу поплавка. Чем больше расход газа и его плотность, тем выше поднимается поплавок. Ротаметр снабжен

шкалой 3, тарированной по расходу воздуха. Для пересчета на расход защитного газа пользуются графиками. Общий вид ротаметра РС-3 показан на рисунке 10.7, б.

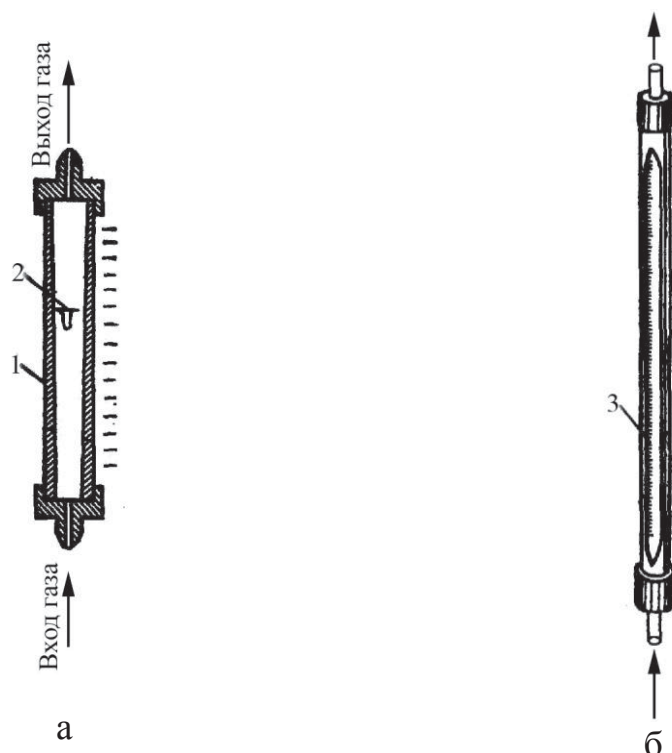


Рис. 10.7. Расходомеры газа

Расходомер дроссельного типа построен на принципе измерения перепада давления на участках до и после дросселирующей диафрагмы, который зависит от расхода газа и замеряется манометрами. О примерном расходе защитного газа можно судить также по показанию манометра низкого давления газового редуктора. Для этого на выходе редуктора устанавливают дроссельную шайбу (дюзу) с небольшим калиброванным отверстием. Скорость истечения газа через его отверстие, а следовательно, и расход газа будут пропорциональны давлению газа в рабочей камере. Этот принцип использован в редукторе У-30, где манометр показывает непосредственно расход газа, а не давление в рабочей камере. С этой целью редуктор снабжен двумя дюзами с калиброванными отверстиями разных диаметров. Поворотом корпуса клапана предельного давления против соответствующей дюзы устанавливают канал, каждому положению которого соответствует деление шкалы на манометре.

**Смесители** предназначены для получения смесей газов  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  и  $\text{CO}_2 + \text{Ar} + \text{O}_2$ . Постовой смеситель УКП-1-71 для получения смеси газов  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ , отбираемых из баллонов, и автоматического поддержания

постоянным заданного состава и расхода газовой смеси состоит из регулятора давления с редуктором ДКП-1-65 и узла смешения газов. Изменяют состав смеси заменой дюз. Рамповый смеситель УКР-1-72 позволяет получить смесь  $\text{CO}_2+\text{O}_2$  при отборе кислорода от ramпы баллонов, а углекислого газа – от изотермической емкости, предназначенной для сжиженного переохлажденного диоксида углерода. Смеситель обеспечивает питание газом 10–50 сварочных постов.

**Газовый клапан**, используемый для экономии защитного газа, следует устанавливать по возможности ближе к сварочной горелке, иногда его встраивают в ее ручку. Наибольшее распространение получили электромагнитные газовые клапаны. Газовый клапан следует включать так, чтобы была обеспечена предварительная (до зажигания дуги) подача газа, и выключать после обрыва дуги и полного затвердевания кратера шва.

**Перепускную ramпу** применяют для подачи в сварочный цех защитного газа при значительном его расходе. Она состоит из двух групп поочередно подключаемых баллонов, коллектора с газовой аппаратурой и трубопровода, по которому защитный газ подается к сварочным постам. Трубопроводы для подачи углекислого газа и его смесей окрашивают в черный цвет.

#### ***10.4. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ***

Как было определено ранее, одним из перспективных направлений реализации управляемого переноса и снижения разбрызгивания является импульсная подача сварочной проволоки в зону сварки.

Для реализации этого процесса необходимо специальное устройство – механизм импульсной подачи сварочной проволоки, которое осуществляет процесс подачи, а также управление параметрами импульса.

Существующие механизмы импульсной подачи сварочной проволоки можно разделить по ряду признаков определяющих их характерные особенности.

Одним из важных признаков механизмов подачи как постоянной, так и импульсной является способ подачи проволоки. Согласно этому признаку механизмы можно разделить:

- механизмы толкающего типа (подающее устройство располагается перед направляющим каналом, его работа заключается в проталкивании проволоки через сварочный шланг в зону сварки);

- механизмы тянущего типа (подающее устройство находится после направляющего канала, механизм работает на вытягивание проволоки из сварочного шланга).

Применимость механизмов подачи в системах тянущего типа особенно актуальна в условиях роста монтажных работ, когда габариты подающего устройства имеют решающее значение. Поэтому разработка малогабаритных подающих механизмов дает возможность создания мобильных сварочных постов.

Для механизмов импульсной подачи сварочной проволоки особенно важна возможность использования их в системах тянущего типа, т.к. это определяет не только портативность системы, но и, что более важно, более точную передачу формы импульса. Это объясняется тем, что перемещение проволоки через шланг полуавтомата чувствительно к форме и размеру изгиба шланга. Перемещение проволоки в импульсном режиме через сопротивление шланга в любом случае сопровождается демпфированием переднего и заднего фронтов импульса, но если учесть, что положение шланга может меняться в ходе каких-либо манипуляций сварщика, то будет меняться и форма импульса и соответственно условия воздействия на процесс сварки.

Другим классификационным признаком может являться вид применяемого привода подачи сварочной проволоки. В соответствии с данным признаком можно выделить два основных направления развития механизмов импульсной подачи сварочной проволоки:

1. Механизмы с приводом от электродвигателя (постоянного или переменного тока, шаговые электродвигатели).
2. Механизмы с приводом подачи от электромагнитов.

Приоритет механизмов той либо другой группы довольно сложно, так как те и другие обладают отличительными положительными и отрицательными чертами. С одной стороны, электромагнитные механизмы более сложны в изготовлении, требуют дополнительного оборудования для управления работой электромагнитов и более чувствительны к условиям электромагнитных возмущений, но с другой стороны – наличие обратных связей позволяет более точно адаптировать систему. В механизмах же с приводом от электродвигателя довольно сложна реализация обратных связей вследствие их большой инерционности. Но с другой стороны, механизмы с приводом от электродвигателя более просты в изготовлении, не требуют никакого дополнительного оборудования и в большинстве случаев могут работать в комплекте со штатными источниками питания. Кроме того, использование в некоторых случаях малогабаритных двигателей постоянного тока позволяет использовать подобные устройства в системах тя-

нущего типа, что как было отмечено ранее предоставляет свои положительные результаты.

Еще одним классификационным признаком может послужить способ воздействия рабочего органа (кулачка, ролика, шестерни, мальтийского креста и т.д.) на сварочную проволоку. Данный способ по нашему мнению позволяет разграничить механизмы импульсной подачи по принципу действия.

К отдельной группе импульсных подающих механизмов можно отнести устройства, разработанные кафедрой сварочного производства Юргинского технологического института Томского политехнического университета, которые преобразуют постоянную подачу проволоки, осуществляемую стандартным подающим механизмом (полуавтоматом) в импульсную. Это осуществляется с помощью установки электромагнитного механизма в сварочном держателе, который производит принудительную остановку движения проволоки с частотой, обеспечивающей образование капли оптимального размера. Шаг подачи и скорость импульса зависят от скорости подачи проволоки серийным подающим механизмом и энергии, которую накопит сварочная проволока в направляющем канале во время ее торможения в конце шланга. Как показывают экспериментальные исследования, при применении данных механизмов потери металла на угар и разбрызгивание составляют для проволоки диаметром 1,2 мм – 3,74 % ( $I_{CB}=200$  А), для проволоки диаметром 1,6 мм – 2,4 % ( $I_{CB}=240$  А).

Существует множество подходов к созданию подобных устройств, которые можно классифицировать по способу взаимодействия с проволокой:

- механизмы с подвижным захватом;
- механизмы с непостоянным взаимодействием проволоки и рабочего звена механизма;
- механизмы с поперечным движением рабочего звена, относительно направления подачи (отклоняющего типа).

На рисунке 10.8 представлена схема классификации механизмов по предлагаемому признаку.

Рассмотрим устройство и принцип действия некоторых из этих механизмов.

#### **10.4.1. МЕХАНИЗМЫ С ПОДВИЖНЫМ ЗАХВАТОМ**

На рисунке 10.9 представлен механизм импульсной подачи сварочной проволоки с электродвигателем и регулятором на основе квазиволнового преобразователя.



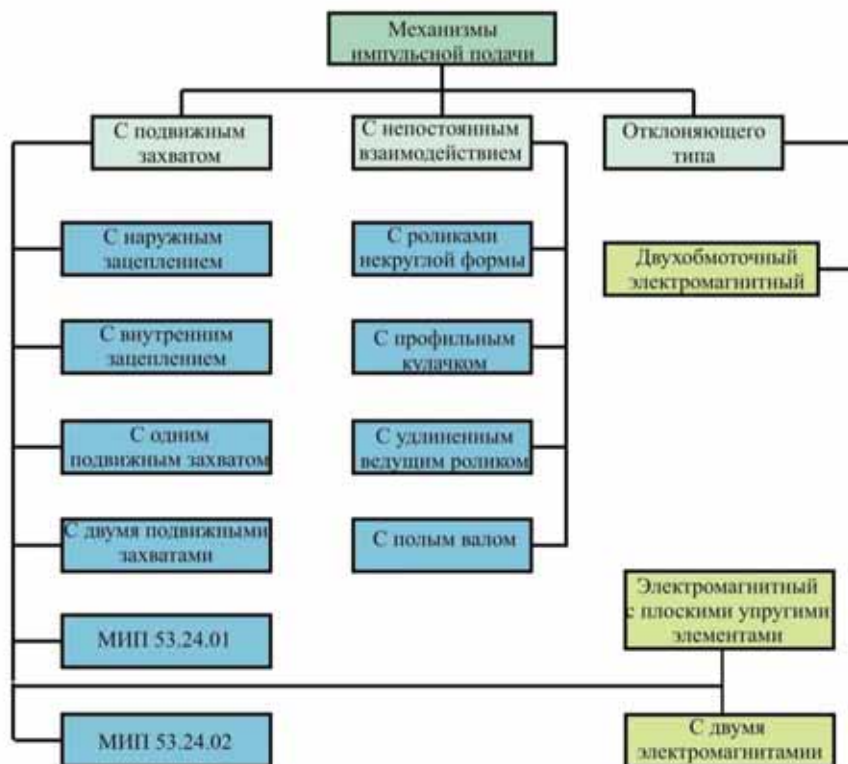


Рис. 10.8. Классификация механизмов импульсной подачи по способу взаимодействия проволоки и рабочего органа

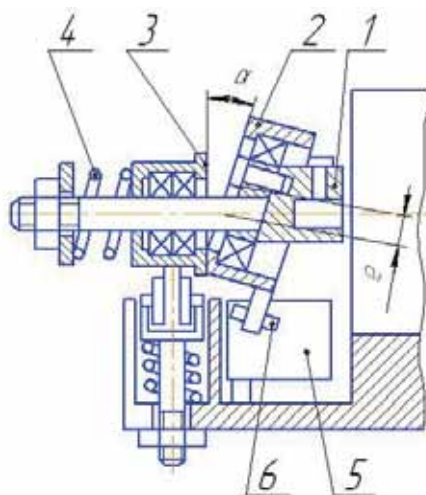
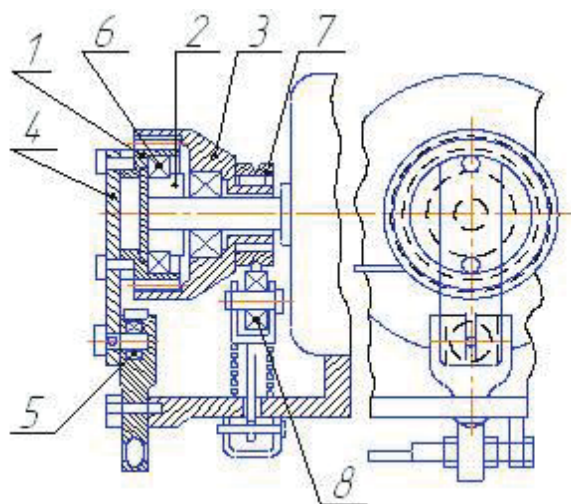


Рис. 10.9. Механизм импульсной подачи с наружным зацеплением:  
1 – вал электродвигателя; 2,3 – диск; 4 – пружина; 5 – регулятор; 6 – ролик

Данный механизм действует следующим образом: при включении электродвигателя вал 1 начинает вращаться. Так как диск 2 зафиксирован относительно собственной оси, то он перекачивается по поверхности взаимодействия с диском 3. При наличии угла наклона  $\alpha$  и эксцентриситета  $e$ , а также благодаря фрикционным свойствам поверхности

взаимодействия и усилию пружины 4 диск 3 получает вращение. Амплитуда импульсов зависит от отклонения регулятора 5 от среднего положения. При взаимодействии ролика 6 с регулятором 5 происходит периодическое колебание диска 3 относительно собственной оси, что вызывает его импульсное вращение вместе с подающим роликом, а, следовательно, и импульсное движение проволоки.

Более сложный, но более надежный механизм, работающий по этому принципу, имеет внутреннее зубчатое зацепление дисков. Вариант конструкции таких механизмов представлен на рисунке 10.10.



*Рис. 10.10. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с внутренним зацеплением: 1 – сателлит; 2 – эксцентриковая втулка; 3 – шестерня; 4 – рычаг; 5 – опорный подшипник; 6 – подшипник; 7 – подающий ролик; 8 – прижимной ролик*

Механизм работает следующим образом: при вращении вала электродвигателя сателлит 1 на эксцентриковой втулке 2 проворачивается и обкатывается внутри центральной шестерни 3. При этом сателлит 1 через рычаг 4 и опорный подшипник 5 взаимодействует с опорным элементом, который заставляет дополнительно вращаться сателлит в подшипнике 6. Совершая сложное вращательное движение, сателлит 1 входит в зацепление с центральной шестерней 3, производящей периодическое вращение. Оно передается подающему ролику 7, который совместно с прижимным роликом 8 обеспечивает импульсное перемещение сварочной проволоки.

Описанные выше механизмы по своей сути несколько напоминают механизмы с волновой передачей. Поэтому они получили название – механизмы с квазиволновым преобразователем.

Продолжением идеи реализации подобного рода устройств являются механизмы с эксцентриковым валом в вариантах с одним и двумя

подвижными захватами, представленные на рисунках 10.11 и 10.12 соответственно.

Первый из этих механизмов представляет собой устройство с подшипником 1, установленным эксцентрично на валу электродвигателя 2. При этом наружная обойма шарнирно связана с подвижным односторонним захватом 3 (стопорный захват не показан). Система представляет собой кривошип, образованный отрезком между центрами подшипника и эксцентрикового вала, а также шатун в виде отрезка между двумя шарнирами и ползуном, образованным односторонним захватом с движимой им проволокой (на рис. 10.11 не показана).

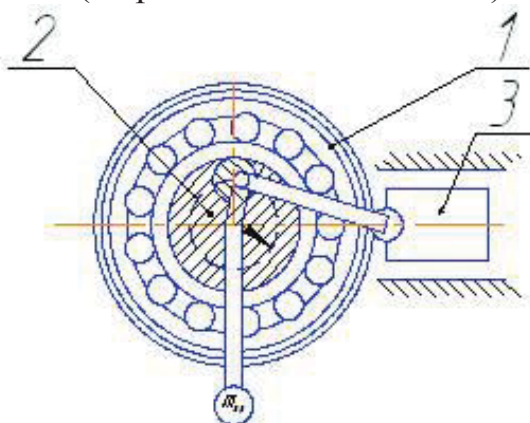


Рис. 10.11. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с одним подвижным захватом: 1 – подшипник; 2 – электродвигатель; 3 – захват

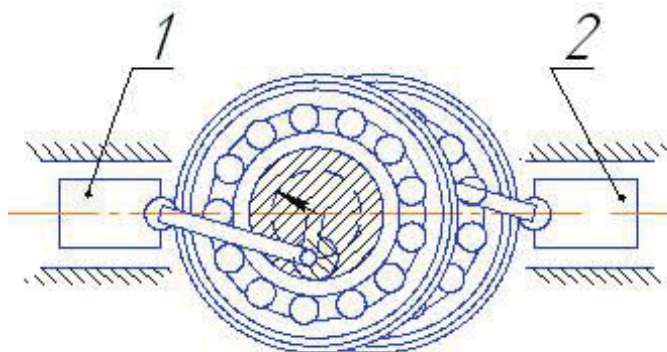


Рис. 10.12. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с двумя подвижными захватами: 1, 2 – захват

При конструировании механизмов импульсной подачи зачастую используют конструкцию с двумя движущимися навстречу друг другу захватами 1 и 2. Такой алгоритм работы механизма решает задачу его уравнивания посредством двух симметричных систем подачи.

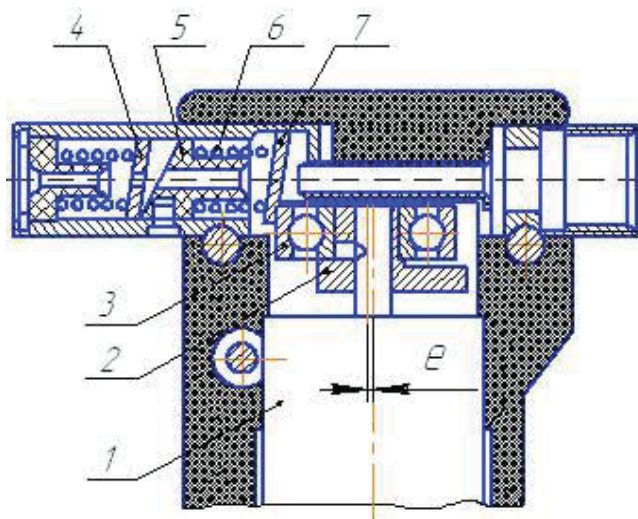
К недостаткам подобных устройств можно отнести довольно сложную в изготовлении конструкцию: появление насечки на проволоке, что

увеличивает сопротивление канала проталкиванию проволоки и, как следствие, необходимость более высоких усилий проталкивания, а также снижение долговечности самого направляющего канала. Большие габариты устройства не позволяют использовать данный механизм в системах тянущего типа.

Другим конструктивным решением являются безредукторные механизмы, имеющие привод от электродвигателя.

В НИКИМТе разработан способ импульсной подачи сварочной проволоки и изготовлен для его реализации ряд механизмов механического типа. В качестве двигателя в них применены малогабаритные электродвигатели постоянного тока ДПР-52, Д-15 и др.

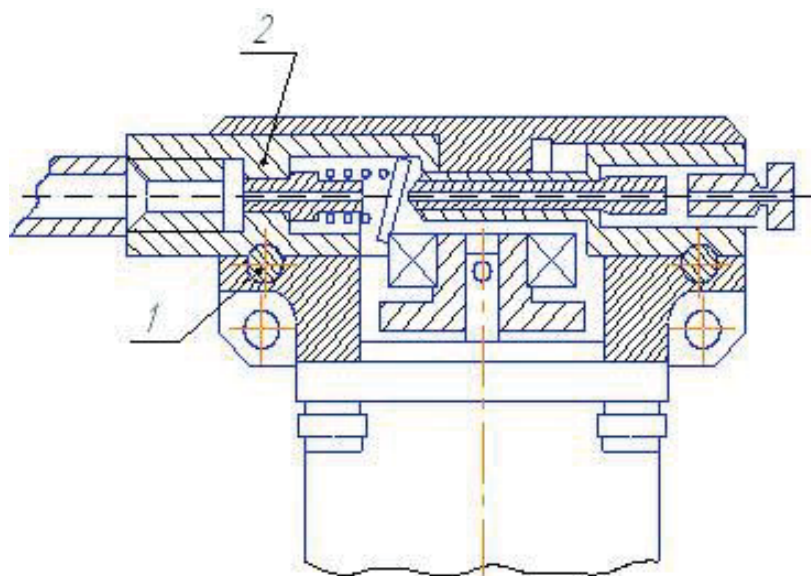
На рисунке 10.13 представлен механизм импульсной подачи сварочной проволоки диаметром 1,2...2,0 мм со скоростью 10–400 м/ч.



*Рис. 10.13. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки МИП 53.24.01:  
1 – электродвигатель; 2 – эксцентрик; 3 – подшипник; захват; 5 – втулка;  
6 – пружина; 7 – захват*

Работа механизма осуществляется следующим образом: на валу электродвигателя 1 установлен эксцентрик 2, на цапфе которого установлен шарикоподшипник 3. В точке К шарикоподшипник соприкасается с рабочим захватом 7, на который с обратной стороны действует пружина 6, установленная на втулке 5 для предварительного поджатия кромок отверстия шайбы к проволоке. Захват 4 является пассивным и служит для удержания проволоки на месте при перемещении рабочего захвата в исходное положение. Усилие подачи, развиваемое захватом (типа шайбы), в зависимости от мощности электродвигателя может составлять 50–100 Н.

Основным элементом, лимитирующим долговечность механизма, является шайбовый захват. Его стойкость исчисляется 12–24 ч, после чего его необходимо заменять. С целью облегчения замены захвата в механизме, изображенном на рисунке 10.14, рабочий захват вместе с втулкой и пружиной смонтирован в отдельной втулке 2 и представляет собой сменный патрон, который фиксируется в корпусе тангенциальным зажимом 1.



*Рис. 10.14. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки МИП 53.24.02: 1 – зажим; 2 – втулка*

К преимуществам данного типа механизмов можно отнести: простоту конструкции, высокую надежность и малые массогабаритные размеры, что позволяет использовать их в системах тянущего типа. А это, в свою очередь, предоставляет свои преимущества, как увеличение срока службы направляющего канала и токоподвода и др. Двигатель ДПР-52 позволяет изменять число оборотов, поэтому скорость подачи проволоки может быть запрограммирована согласно требованиям технологического процесса сварки. Основными силовыми элементами указанных механизмов являются электромагнит втяжного типа и пластинчатая пружина. К недостаткам этих механизмов можно отнести низкую долговечность шариковых захватов, нестабильность скорости подачи сварочной проволоки, обусловленных изменениями характеристик упругих элементов в процессе нагрева электромагнитов под действием пульсирующего тока.

Оба механизма предназначены для совместной работы в полуавтоматах тяни-толкающего типа, так как их конструкции позволяют легко

синхронизировать приводы при подаче проволоки, обеспечить ее продольную устойчивость.

Другим направлением в реализации подобных устройств являются механизмы, имеющие привод от электромагнита.

Электромагнитные импульсные механизмы отвечают всем технологическим требованиям, предъявляемым сваркой с импульсной подачей сварочной проволоки: высокой скоростью разгона и торможения, отсутствием передаточных звеньев. Основные недостатки этих механизмов – отсутствие реверса проволоки, что затрудняет установку сварочной проволоки, большие вибрационные нагрузки и повышенный шум, что ухудшает условия труда сварщика.

Продолжением данного направления явилось двухобмоточное электромагнитное устройство, представленное на рисунке 10.15.

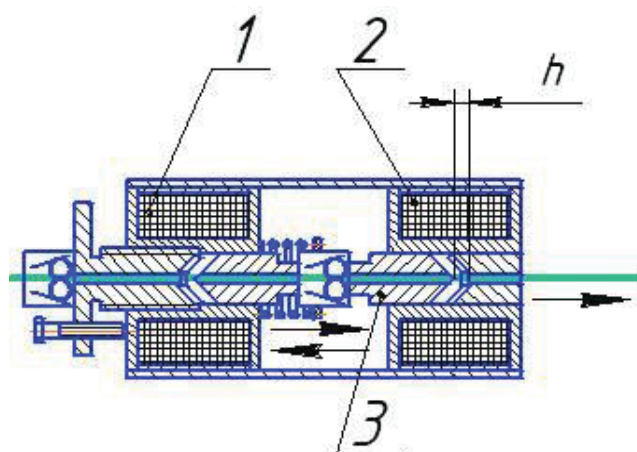


Рис. 10.15. Электромагнитный механизм импульсной подачи сварочной проволоки с двумя электромагнитами: 1, 2 – катушки; 3 – якорь;  $h$  – зазор

Механизм состоит из магнитопровода, фланцев, якоря и сердечника, составляющих замкнутую систему.

Внутри электромагнита расположены две катушки 1 и 2 – для подачи проволоки и для возврата якоря 3 в исходное положение.

Шаг подачи регулируют посредством установки величины рабочего зазора  $h$ . Частота импульсов подачи задается частотой импульсов тока, подаваемых на катушки.

Двухобмоточное электромагнитное устройство обеспечивает тяговое усилие в 2...5 раз больше, чем устройство с упругим элементом, где электромагнитные силы преодолевают также и упругие силы пружины. В двухобмоточном устройстве рабочий диапазон частот пульсаций якоря существенно расширен за счет уменьшения времени срабатывания и времени возврата захвата на один–два порядка. Тяговое усилие такого устройства достигает 350...400 Н при шаге подачи 0,5...3,0 мм, частоте

следования импульсов подачи  $10 \dots 100 \text{ с}^{-1}$ , скорости движения проволоки во время импульса  $1,5 \dots 2,0 \text{ м/с}$  и интегральной скорости её подачи в пределах  $0,01 \dots 0,10 \text{ м/с}$ .

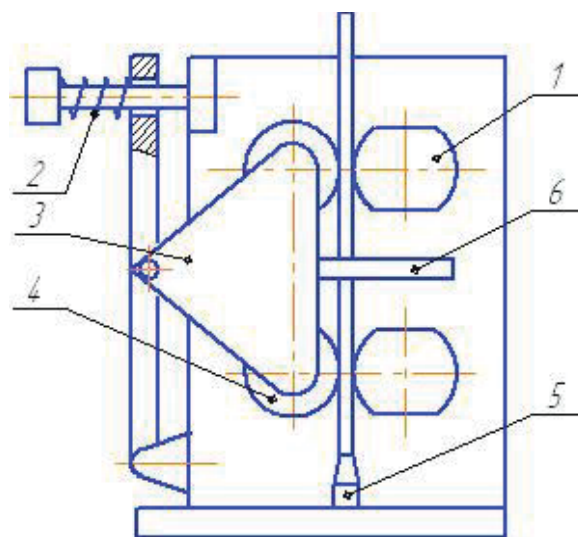
Важным технологическим преимуществом данного устройства является возможность практически безынерционного торможения сварочной проволоки, что обеспечивает управляемый перенос электродного металла в сварочную ванну при выполнении швов, расположенных в различных пространственных положениях.

Недостатки электромагнитных устройств заключаются в невозможности реверса проволоки, в значительных усилиях подачи сварочной проволоки, в недостаточно широком частотном диапазоне регулирования подачи сварочной проволоки и низким КПД.

#### 10.4.2. МЕХАНИЗМЫ С НЕПОСТОЯННЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Механизмы с непостоянным взаимодействием рабочих элементов – это механизмы, в которых прерывание подачи сварочной проволоки происходит за счет прекращения контакта между рабочими элементами.

Одним из представителей данного вида является механизм с ведущими роликами 1 с одинаково расположенными срезами и двумя круглыми прижимными роликами 4, установленными на качающемся коромысле 3, представленный на рисунке 10.16.

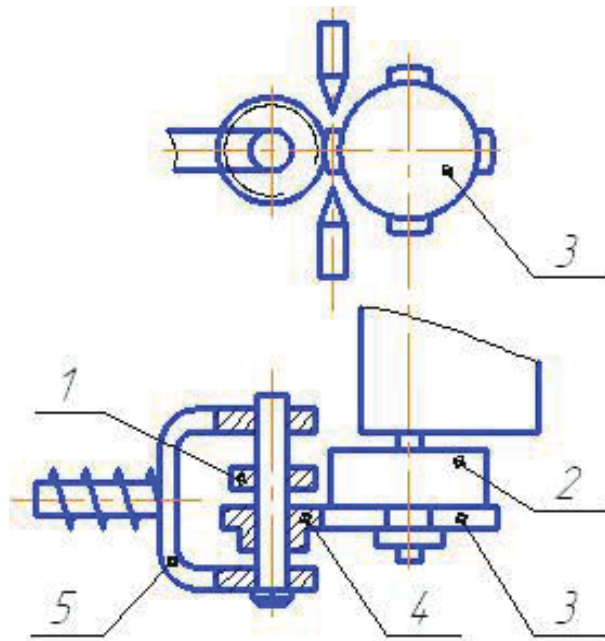


*Рис. 10.16. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с роликами некруглой формы: 1 – ведущий ролик; 2 – пружина; 3 – качающийся ролик; 4 – прижимной ролик; 5 – мундштук; 6 – ограничитель*

Работа механизма заключается в следующем: перед началом сварки ведущие ролики цилиндрической поверхностью поворачивают к прижимным роликам, останавливают, заводят проволоку в приемный

мундштук 5, обеспечивают усилие прижатия пружиной 2 и плотно прижимают ограничитель 6 к коромыслу. При постоянном вращении с заданной скоростью ведущих роликов механизм обеспечивает подачу проволоки в периодическом режиме.

На рис. 10.17 показан подающий механизм, в котором программирование продолжительности взаимодействия прижимного 1 и ведущего 2 роликов обеспечивается профилированным кулачком 3, жестко соединенным с ведущим роликом и установленным на выходном валу редуктора.



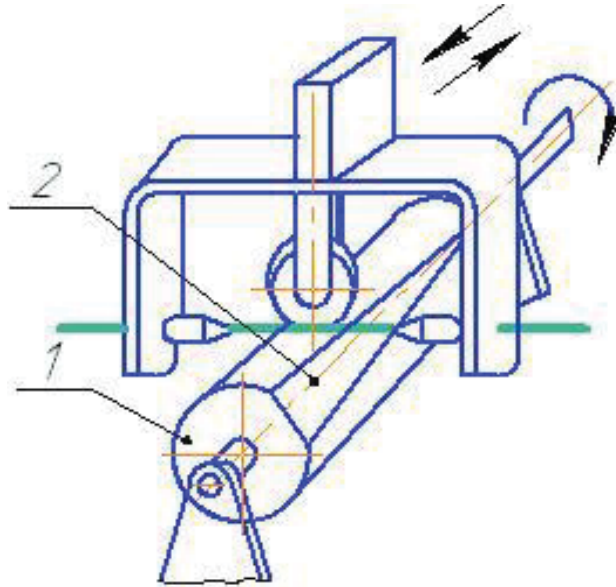
*Рис. 10.17. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с профильным кулачком: 1 – прижимной ролик; 2 – ведущий ролик; 3 – профилированный кулачок; 4 – поджимная втулка; 5 – подпружиненная вилка*

Кулачок через поджимную втулку 4, установленную соосно с прижимным роликом, своими выступами периодически отодвигает подпружиненную вилку 5, что обеспечивает чередование импульсов подачи.

Как было отмечено ранее, недостатками подобных устройств являются узкий частотный диапазон регулирования, сложность, а иногда невозможность регулирования режима в процессе сварки, а также невозможность получить законы движения проволоки различной формы.

В следующем механизме, изображенном на рисунке 10.18, профильный ролик 1 выполнен в виде цилиндра с угловым скосом 2, что позволяет при перемещении цилиндра в осевом направлении изменять временные характеристики импульса.





*Рис. 10.18. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с удлиненным ведущим роликом: 1 – профильный ролик; 2 – цилиндр*

Недостатком механизмов с подобными профильными элементами является сложность получения требуемого закона движения проволоки.

Сюда же можно отнести механизмы с программируемым напряжением питания электродвигателя подачи, предложенные в США, Великобритании и России.

Для работ использовали серийный двигатель постоянного тока типа Д-25, якорную цепь которого питали однополярными и разнополярными импульсами тока. Такой прием обеспечивал шаг подачи 1...3 мм при частоте импульсов 1...10 Гц. Наилучшие технологические результаты получены при питании цепи якоря прерывистыми разнополярными импульсами тока.

Известен механизм подачи сварочной проволоки, в котором вращательное движение электродвигателя с полым валом, через который проходит проволока, преобразуется в продольное движение проволоки за счет обкатки корпуса со спиралью Архимеда вокруг проволоки (рис. 10.19).

Устройство для подачи сварочной проволоки работает следующим образом: при включении электродвигателя 1 начинает вращаться вал 2 совместно с обоймой 3. За счет центробежных сил кулачки 4, взаимодействуя со своими поверхностями 5 с ответными поверхностями 6 обоймы 3, перемещаются по последним, в результате чего поверхности 7 кулачков 4 перемещаются в радиальном направлении, охватывая проволоку 5.

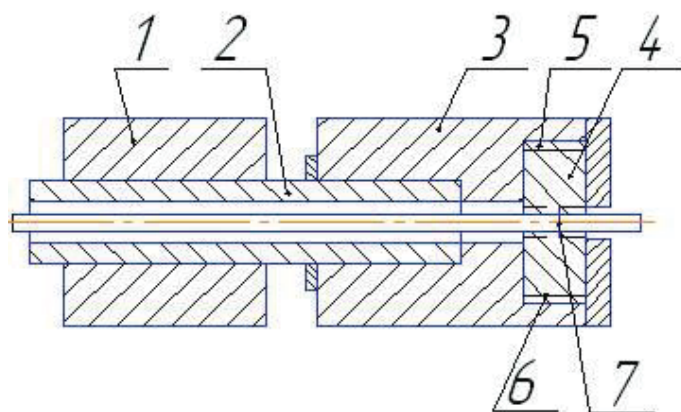


Рис. 10.19. Механизм импульсной подачи сварочной проволоки с полым валом:  
1 – электродвигатель; 2 – вал; 3 – обойма; 4 – кулачок; 5, 6, 7 – поверхности

При питании электродвигателя разнополярными импульсами тока получают импульсную подачу сварочной проволоки.

Недостатками данных устройств являются: нерациональное использование мощностей двигателя, интегральная скорость подачи электродной проволоки, шаг и частота импульсов не отвечают принятым требованиям.

#### 10.4.3. МЕХАНИЗМЫ ОТКЛОНЯЮЩЕГО ТИПА

Механизмы отклоняющего типа – это механизмы, в которых продольное движение проволоки происходит за счет поперечного движения рабочего элемента подающего устройства. Процесс происходит с образованием волнового изгиба проволоки между двумя захватами, что позволяет использовать энергию упругой деформации для подачи проволоки на шаг подачи.

Одним из представителей подобных устройств является механизм, представленный на рисунке 10.20.

Его работа состоит из двух этапов.

На первом этапе при подаче напряжения на обмотку 2 электромагнита 1 сердечник 6, соединенный посредством втулки 8 с сердечником 7, втягивается до упора, утягивая проволоку, пропущенную через отверстие 9 от среднего положения. При этом захват 11 закрывается, препятствуя вытягиванию проволоки из зоны сварки, а захват 10 открывается, пропуская проволоку, вытягиваемую из бухты.

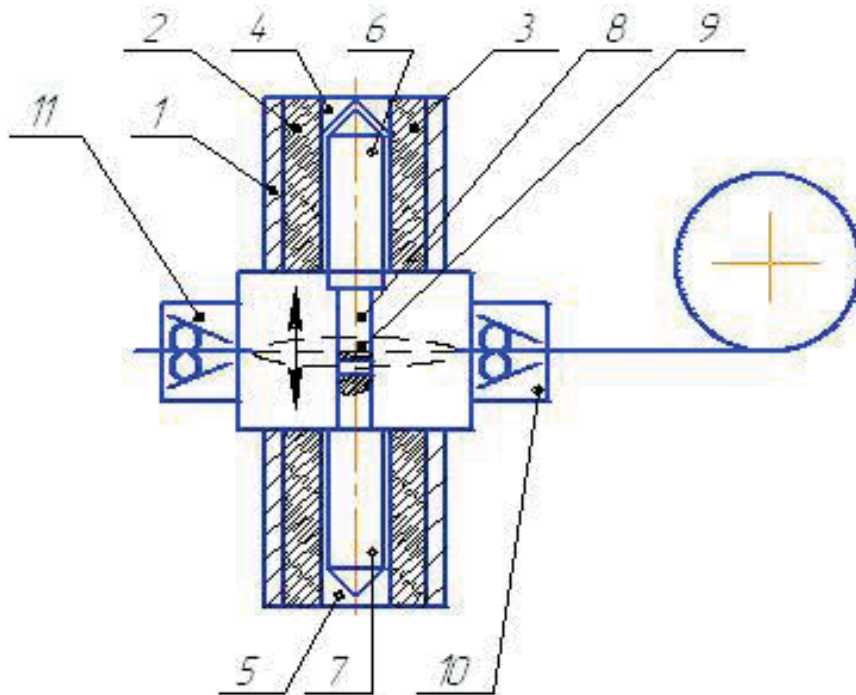


Рис. 10.20. Двухобмоточный электромагнитный механизм с квазиволновым движением сварочной проволоки: 1, 3 – электромагнит; 2 – обмотка; 4, 5 – упор; 6, 7 – сердечник; 8 – втулку; 9 – отверстие; 10, 11 – захват

Второй этап начинается при переключении напряжения на электромагнит 3. Сердечник 7 втягивается в электромагнит, увлекая за собой сердечник 6 и втулку 8, перемещая при этом проволоку.

Под действием движения проволоки захват 11 открывается, пропуская ее в зону сварки, а захват 10 закрывается, препятствуя выталкиванию проволоки обратно в бухту.

Дальше этапы повторяются зеркально относительно среднего положения, т.к. электромагнит 3 втягивает сердечник 7 до упора 5, что вызывает отклонение проволоки в этом направлении.

Регулировка шага подачи осуществляется за счет изменения зазора между упорами 5 и 6 и сердечниками 6 и 7.

Это устройство обладает широкими пределами регулирования и небольшими усилиями подачи. Но одновременно с этим имеет большие массогабаритные показатели, значительные усилия подачи проволоки, низкий КПД, а также высокие вибрационные и шумовые показатели, что является существенным недостатком.

Анализ вышеприведенных устройств показал:

- механизмы с приводом от электродвигателя имеют меньшие массогабаритные показатели, обладают высокой надежностью работы и создают меньшие вибрацию и шум;

- механизмы отклоняющего типа обладают более широкими пределами регулирования параметров импульса и меньшими усилиями подачи.

Одним из наиболее совершенных механизмов этого типа является механизм с преобразованием вращательного движения вала приводного электродвигателя в импульсное вращение подающих роликов (механизм с квазиволновым преобразователем — КВП). Этот механизм, в отличие от ранее описанных, в том числе и с односторонними захватами, имеет достаточный ресурс работы, а также специфические особенности по формированию импульсов определенных параметров, обеспечивающих ускорение движения электродной проволоки в импульсе для принудительного переноса капель электродного металла в ванну. Однако рассмотренные ранее конструкции механизмов импульсной подачи электродной проволоки этого типа имеют некоторые ограничения относительно формирования импульсов заданных параметров, связанные с используемыми в данных механизмах техническими решениями. В последнее время разработан, изготовлен и испытан ряд модификаций механизмов импульсной подачи с КВП, позволяющих существенно расширить их технические и технологические возможности для использования в дуговом механизированном оборудовании.

Существует еще один механизм импульсной подачи сварочной проволоки, содержащий два зажима для проволоки, отличающийся тем, что он дополнительно снабжен штоком, устройством возвратно-поступательного перемещения штока в осевом направлении и кулачком, имеющим привод вращения, представлен на рисунке 10.21.

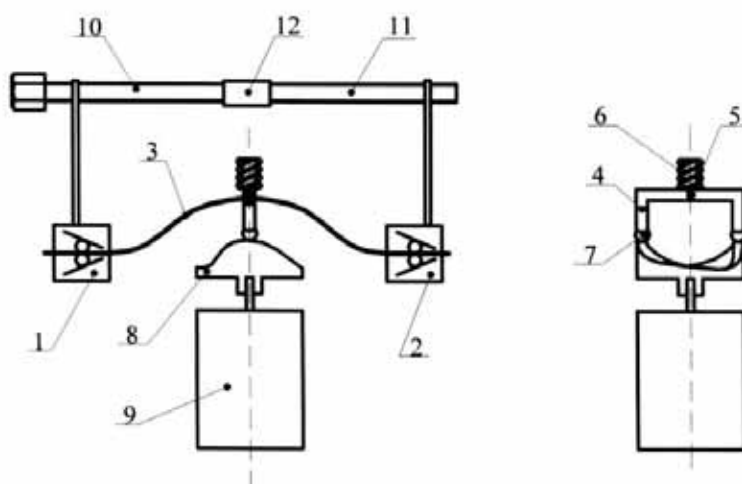


Рис. 10.21. Механизм импульсной подачи с квазиволновым движением проволоки, имеющий плоский кулачок: 1,2 – зажим; 3 – проволока; 4 – шток; 5 – отверстие; 6 – пружина; 7 – ролик; 8 – кулачок

Механизм работает следующим образом. Проволоку 3 в механизм заводят через зажим 2, пропускают через отверстие 5 в штоке 4 и выводят через зажим 1. При включении привода 9 начинает вращаться кулачок 8, воздействуя профильной поверхностью на шток 4 через ролик 7, который обкатывает кулачок 8, в результате чего шток 4 (при расположении ролика 7 на подъеме кулачка 8) поднимается вверх, сжимая пружину 6 и вытягивая проволоку 3 из зажима 2, при этом зажим 1 заклинивает и проволока 3 образует волну. При дальнейшем движении кулачка 8 шток 4 под действием пружины 6 будет опускаться вниз, проталкивая проволоку в зону сварки через зажим 1, причем в это время зажим 2 будет закрыт, препятствуя прохождению проволоки 3 обратно в шланг. При работе механизма шток 4 совершает возвратно-поступательное перемещение, производя то образование волны проволоки 3, то проталкивая ее через зажим 1. Частота импульсов подачи проволоки 3 зависит от скорости вращения кулачка 8. Ход подачи сварочной проволоки зависит от расстояния между зажимами 1 и 2, которое регулируется перемещением зажима 2 в осевом направлении.

### ВОПРОСЫ

1. Каковы требования и назначение автоматов для дуговой сварки?
2. Расскажите о классификации сварочных автоматов и их основных видах.
3. Каковы принципы работы сварочных автоматов и области их применения?
4. Назовите основные узлы сварочных автоматов и их конструктивные особенности.
5. Назовите существующие автоматы для сварки под слоем флюса. Их особенности.
6. Назовите варочные автоматы для сварки в защитных газах. Их особенности.
7. Назовите газовую аппаратуру для автоматической сварки в защитных газах. Ее назначение.

## ГЛАВА 11. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

### 11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРОЧНЫХ ПОЛУАВТОМАТОВ

При механизированной сварке используют специальные сварочные аппараты, обеспечивающие механизированную подачу сварочной проволоки, а перемещение дуги вдоль оси шва выполняется вручную. Такие аппараты получили название полуавтоматов для дуговой сварки. Полуавтоматы классифицированы по разным признакам:

*по способу защиты сварочной зоны* – для сварки под флюсом, в среде защитных газов, открытой дугой;

*по способу регулирования дуги* – в основном применяют полуавтоматы с саморегулированием дуги;

*по виду применяемой проволоки* – сплошной, порошковой или комбинированной;

*по способу подачи проволоки* – толкающего, тянущего и комбинированного типа;

*по конструктивному исполнению* – со стационарным, передвижным и переносным подающим устройством.

Для сварки выпускают полуавтоматы, рассчитанные на номинальные токи 150–600 А, для проволоки диаметром 0,8–3,5 мм со скоростями подачи 1,0–17,0 м/мин.

В комплект полуавтоматов обычно входят подающее устройство с кассетами для электродной проволоки, шкаф управления, сварочные горелки, провода для сварочной цепи и цепей управления, газовая аппаратура.

### 11.2. УСТРОЙСТВО И ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ ПОЛУАВТОМАТОВ

При механизированной сварке сварочная головка чаще всего разделена на две части – подающий механизм и держатель (при сварке в защитных газах – сварочная горелка), соединенные между собой гибким шлангом. Поэтому такие аппараты иногда называют **шланговыми**. Полуавтоматы позволяют сочетать преимущества автоматической сварки с универсальностью и маневренностью ручной. Типовая схема полуавтомата показана на рисунке 11.1.

В их состав входят узлы: держатель 1, гибкий шланг 2, механизм подачи сварочной проволоки 3, кассета со сварочной проволокой 4 и аппаратный шкаф или шкаф управления 5.

Наиболее ответственным элементом полуавтоматов является механизм подачи проволоки.

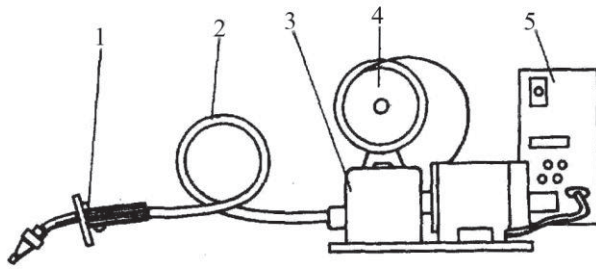


Рис. 11.1. Схема полуавтомата для дуговой сварки

Его назначение и компоновка примерно те же, что и у сварочных головок автоматов для дуговой сварки. Обычно она состоит из электродвигателя, редуктора и системы подающих и прижимных роликов. Механизм обеспечивает подачу электродной проволоки по гибкому шлангу в зону сварки. Приводом могут использоваться двигатели переменного или постоянного тока. Скорости подачи в первом случае изменяют ступенчато-сменными шестернями, во втором – плавное регулирование за счет изменения частоты вращения двигателя.

Конструктивное оформление механизма подачи во многом зависит от назначения полуавтомата. В полуавтоматах для сварки проволокой большого диаметра механизм подачи размещен на передвижной тележке и располагается в отдельном корпусе. В полуавтоматах с проволокой малого диаметра он установлен в переносном футляре и расположен непосредственно на корпусе держателя.

Наибольшее распространение получили полуавтоматы толкающего типа. Подающий механизм подает проволоку путем проталкивания ее через гибкий шланг к горелке. Устойчивая подача в этом случае возможна при достаточной жесткости электродной проволоки.

В полуавтоматах тянущего типа механизм подачи или его подающие ролики размещены в горелке. В этом случае проволока протягивается через шланг. Такая система обеспечивает устойчивую подачу мягкой и тонкой проволоки. Имеются полуавтоматы с двумя синхронно работающими механизмами подачи, осуществляющими одновременно проталкивание и протягивание проволоки через шланг (тянуще-толкающий тип).

Гибкий шланг в полуавтоматах предназначен для подачи электродной проволоки, сварочного тока, защитного газа, а иногда и охлаждающей воды к горелке. С этой целью применяют шланговый провод специальной конструкции (рис. 11.2).

Внутри провода для направления проволоки расположена спираль 1, изолированная от токоведущей части 2 бензостойкой изоляцией.

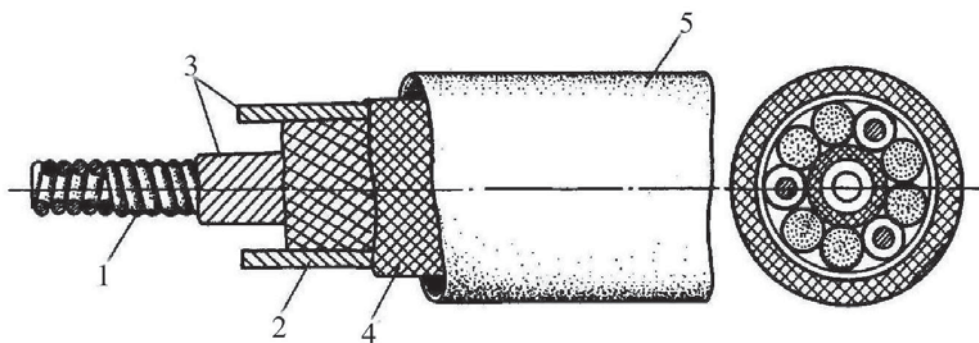


Рис. 11.2. Схема специального шлангового провода

Вместе с токоподводящей частью помещены изолированные проводники 3 цепей управления. Провод заключен в хлопчатобумажную оплетку 4 и покрыт резиновой изоляцией 5. Применяются и составные шланги, состоящие из нескольких трубок и проводов для подачи тока, газа и воды, собранных в общий жгут.

Сварочные горелки предназначены для подвода к месту сварки электродной проволоки, сварочного тока и защитного газа или флюса, а также для ручного перемещения и манипулирования им в процессе сварки. При этом сварщик удерживает держатель в руке и перемещает его вдоль шва. Быстро изнашивающимися частями держателя (при сварке в защитных газах – горелками) являются токоподводящий наконечник и газовое сопло, изготавливаемые из меди. При сварке под флюсом на держателе устанавливается бункер для флюса (рис. 11.3).

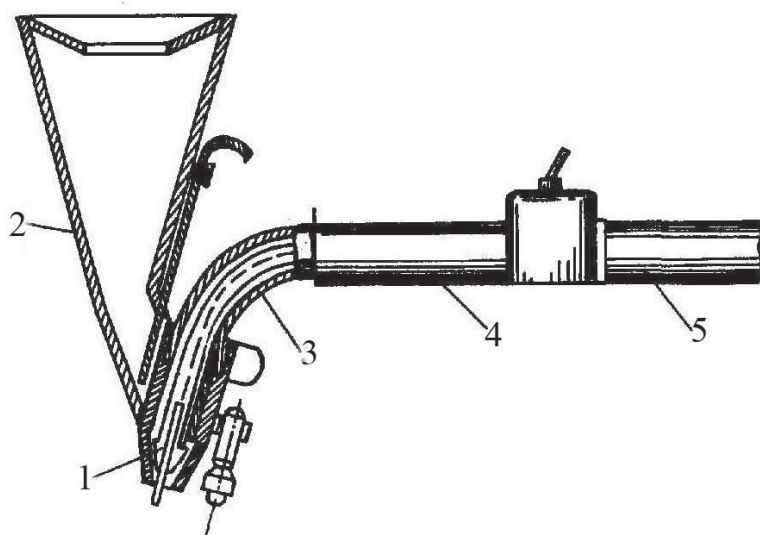


Рис. 11.3. Держатель полуавтомата для сварки под флюсом:  
1 – наконечник; 2 – бункер для флюса; 3 – сварочная проволока;  
4 – ручка; 5 – шланг



Таблица 11.1

*Технические характеристики сварочных полуавтоматов*

Параметры	ПДГ-160	ПДГ-200	ПДГ-251	ПДГ-252	ПДГ-352
Напряжение питающей сети, В	220	220	3×380	3×380	3×380
Потребляемая мощность, кВА	4,5	6,8	17	9,1	16
Сварочный ток, А (ПВ)	100 (25%)	200 (10%)	250 (60%)	250 (40%)	315 (60%)
Диаметр сплошной электродной проволоки, мм	0,8–1	0,8–1,4	0,8–1,4	0,8–1,2	0,8–1,6
Скорость подачи проволоки, м/ч	45–950	60–720	40–950	100–850	60–1200
Количество подающих роликов, шт.	1	1	1	1	2
Напряжение холостого хода, В	40	45	45	45	45
Масса, кг	30	40	110	60	120
Габаритные размеры, мм	325×470 ×420	810×350 ×680	815×345 ×815	810×350 ×630	815×345 ×815

**ВОПРОСЫ**

1. Что представляют собой сварочные полуавтоматы? Их назначение и классификация.
2. Опишите устройство и принцип работы полуавтомата для сварки в защитном газе и под флюсом.
3. В чем заключается принципиальное различие сварочных головок в автоматах и полуавтоматах?
4. Какой тип подающего устройства более подходит для механизированной дуговой сварки тонкой и мягкой сварочной проволокой?
5. Можно ли полуавтоматом выполнять сварку в автоматическом режиме и как?

## ГЛАВА 12. ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

### 12.1. СУЩНОСТЬ СПОСОБА И ОБОРУДОВАНИЕ

С помощью ручной дуговой сварки выполняется большой объем сварочных работ при производстве сварных конструкций. Наибольшее применение находит ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Схема процесса ручной дуговой сварки металлическим покрытым электродом показана на рис. 12.1.

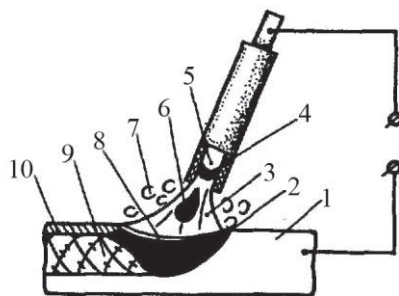


Рис. 12.1. Схема процесса ручной дуговой сварки с покрытыми электродами

Дуга 3 горит между стержнем 5 и основным металлом 1. Под действием теплоты дуги электрод и основной металл расплавляются, образуя сварочную ванну 2. Капли жидкого металла 6 с электродного стержня переносятся в ванну через дуговой промежуток. Вместе с металлическим стержнем плавится и электродное покрытие 4, образуя газовую защиту 7 и жидкую шлаковую пленку 8 на поверхности расплавленного металла. В связи с тем, что большая часть теплоты выделяется на торце металлического стержня электрода, на его конце образуется коническая втулка из покрытия, способствующая направленному движению газового потока. Это улучшает защиту сварочной ванны. По мере движения дуги сварочная ванна охлаждается и затвердевает, образуя сварной шов 9. Жидкий шлак также затвердевает и образует на поверхности шва твердую шлаковую корку 10, удаляемую после сварки. При этом способе выполняется газшлаковая защита расплавленного металла от взаимодействия с воздухом. Кроме того, шлаки позволяют проводить необходимую металлургическую обработку металла в ванне. Для выполнения функций защиты и обработки расплавленного металла покрытия электродов при расплавлении должны образовывать шлаки и газы с определенными физико-химическими свойствами. Поэтому для обеспечения заданного состава и свойств шва при выполнении соединений на разных металлах для сварки применяют электроды с определенным типом покрытий, к которым предъявляют ряд специальных требований (см. главу 12 «Сварочные материалы»).

При сварке покрытыми электродами перемещение электрода вдоль линии сварки и подачу электрода в зону дуги по мере его плавления осуществляют вручную. При этом возникают частые изменения длины дуги, что отражается на постоянстве основных параметров режима: напряжения дуги и силы сварочного тока. С целью поддержания более стабильного теплового режима в ванне при ручной дуговой сварке применяют источники питания с крутопадающими вольтамперными характеристиками. Схема питания дуги при ручной дуговой сварке показана на рисунке 12.2.

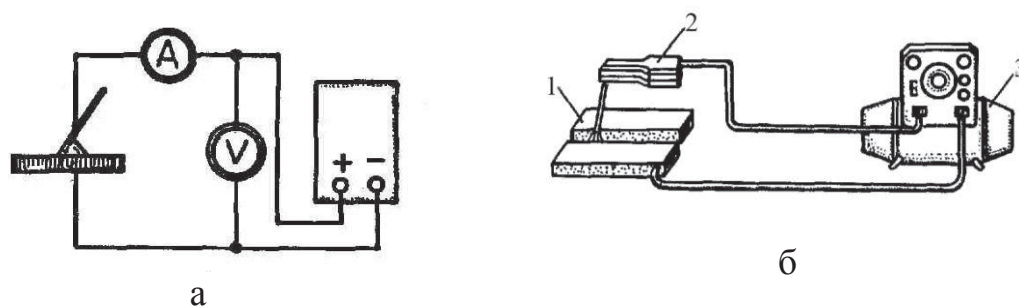


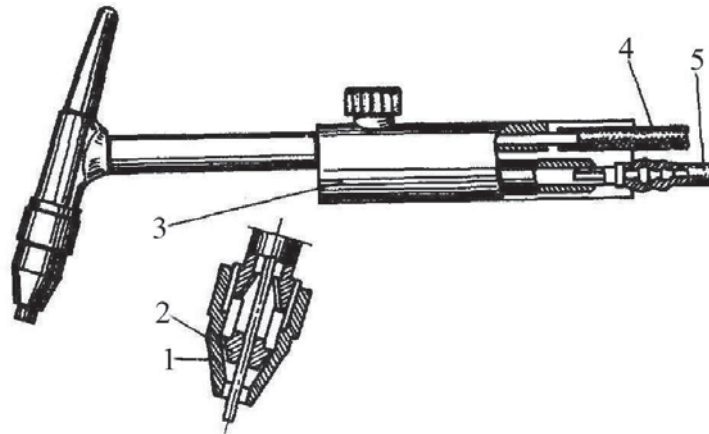
Рис. 12.2. Схема поста ручной дуговой сварки покрытыми электродами:  
 а – электрическая сварочная цепь; б – компоновка сварочного поста;  
 1 – деталь; 2 – держатель; 3 – источник питания дуги

Кроме источника питания дуги основным инструментом сварщика при ручной сварке покрытыми электродами является электрододержатель, предназначенный для крепления электрода, подвода к нему сварочного тока и возможности манипулирования электродом в процессе сварки. По способу закрепления электрододержатели разделяют на вилочные, пружинные, зажимные.

Рациональная область применения дуговой сварки покрытыми электродами – изготовление конструкций из металлов с толщиной соединяемых элементов более 2 мм при небольшой протяженности швов, расположенных в труднодоступных местах и различных пространственных положениях.

Основными преимуществами способа является универсальность и простота оборудования. Недостаток – невысокая производительность и применение ручного труда. Невысокая производительность обусловлена малыми допустимыми значениями плотности тока. Для увеличения производительности используют сварку погруженной дугой, пучком электродов или применяют электроды с железным порошком в покрытии.

При сварке неплавящимся, обычно вольфрамовым, электродом в защитном газе применяются сварочные горелки (рис. 11.3). В настоящее время выпускают три типа горелок: ГСН-1, ГСН-2, ГСН-3 – на токи 450, 150, 70 А.



*Рис. 12.3. Горелка для ручной дуговой сварки в защитном газе:  
1 – сопло; 2 – наконечник; 3 – ручка; 4 – подвод тока; 5 – подвод газа*

## **12.2. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ ПОД СВАРКУ**

Для выполнения сварки соединяемые детали требуют определенной подготовки. Основной металл, предназначенный для изготовления сварных конструкций, предварительно выпрямляют, размечают, разрезают на отдельные детали и выполняют необходимое профилирование кромок.

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах, выполняемых ручной дуговой сваркой, установлены ГОСТ 5264-80, которым предусмотрено четыре типа соединений в зависимости от толщины свариваемых деталей. По форме подготовленных кромок соединения бывают с отбортовкой кромок, без скоса кромок и со скосом кромок – одной или двух. Выполнять швы можно как с одной стороны соединений (односторонние), так и с двух сторон (двусторонние).

При расположении свариваемых деталей под углом основные типы, конструктивные элементы и размеры швов сварных соединений установлены ГОСТ 11534-75, которым предусмотрены формы подготовки кромок и размеры выполнения швов угловых и тавровых соединений.

От состояния поверхности свариваемых кромок в значительной мере зависит качество сварных швов. Подготовка кромок под сварку состоит в тщательной очистке их от ржавчины, окалина, грязи, масла и других инородных включений. 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 важно выдержать необходимые зазоры и совмещение кромок. Точность сборки проверяют шаблонами, измерительными линейками и различного рода щупами (рис. 12.4). Сборку выполняют в специальных приспособлениях или на выверенных стеллажах. Временное закрепление деталей производят струбцинами, скобами или прихваткой короткими швами.

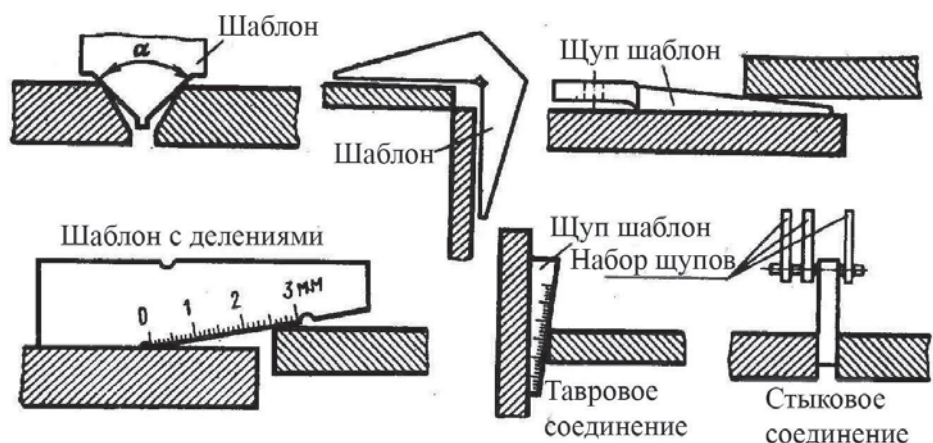


Рис. 12.4. Контроль качества сборки с помощью шаблонов

### 12.3. РЕЖИМЫ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Под режимом сварки понимают совокупность контролируемых параметров, определяющих сварочные условия. Выбор режима предусматривает определение значений параметров, при которых обеспечивается устойчивое горение дуги и получение швов заданных размеров, формы и свойств. Параметры режима подразделяют на основные и дополнительные. К основным параметрам ручной дуговой сварки покрытыми электродами относят диаметр электрода, силу сварочного тока, род и полярность его, напряжение дуги. К дополнительным относят состав и толщину покрытий, положение шва в пространстве, число проходов.

**Диаметр электродов** выбирают в зависимости от толщины металла, катета шва, положения шва в пространстве. Примерное соотношение между толщиной металла  $S$  диаметром электрода  $d$  при сварке шва в нижнем положении составляет (табл. 12.1).

Таблица 12.1

*Соотношение между толщиной металла и диаметром электрода*

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

Выполнение вертикальных, горизонтальных и потолочных швов независимо от толщины свариваемого металла производится электродами небольшого диаметра (до 4 мм), так как 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 3–4 мм, а последующие – электродами большего диаметра.

**Сила сварочного тока** обычно устанавливается в зависимости от выбранного диаметра электрода. При сварке швов в нижнем положении шва для электродов диаметров 3–6 мм сила тока может быть определена по соотношению

$$I_{\text{д}}=(20+6\times d)\times d, \quad (12.1)$$

для электродов диаметром менее 3 мм

$$I_{\text{д}}=30\times d. \quad (12.2)$$

Из приведенной зависимости следует, что допустимая сила тока ограничена. При большой силе тока наблюдается перегрев стержня электрода. В результате ухудшаются защитные свойства покрытия, его осыпание со стержня, нарушается стабильность плавления электрода.

При сварке на вертикальной плоскости силу тока уменьшают на 10–15 %, а в потолочном положении – на 15–20 % против выбранного для нижнего положения шва.

**Род тока и полярность** устанавливаются 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 исходя из учета экономичности процесса.

**Основные положения сварки.** Ручную сварку можно производить во всех пространственных положениях шва, однако следует стремиться к нижнему положению, как более удобному и обеспечивающему лучшие условия для достижения высокого качества сварного шва.

#### **12.4. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ**

Технология выполнения ручной дуговой сварки предусматривает способ возбуждения дуги, перемещения электрода в процессе сварки, порядок наложения швов в зависимости от особенностей сварных соединений.

Возбуждение дуги осуществляется при кратковременном прикосновении конца электрода к изделию и отведении его на расстояние 3–5 мм.

Технически этот процесс можно осуществлять двумя приемами: касанием электрода впритык и отводом его вверх; чирканьем концом электрода, как спичкой, о поверхность изделия.

В процессе сварки необходимо поддерживать определенную длину дуги, которая зависит от марки и диаметра электрода. Ориентировочно нормальная длина дуги должна быть в пределах

$$L_d = (0,5 \dots 1,1) \times d, \quad (12.3)$$

где  $L_d$  – длина дуги, мм;  $d$  – диаметр электрода, мм.

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.

Для образования сварного шва электроду придается сложное движение в трех направлениях. Первое движение – это поступательное движение электрода по направлению 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 1,5 диаметра электрода, так называемый ниточный шов. Такой шов применяется при сварке тонкого металла, а также при выполнении корня шва при многослойной (многопроходной) сварке. Третье движение – это 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 (рис. 12.5) могут быть различными и определяются формой, размером и положением шва в пространстве.

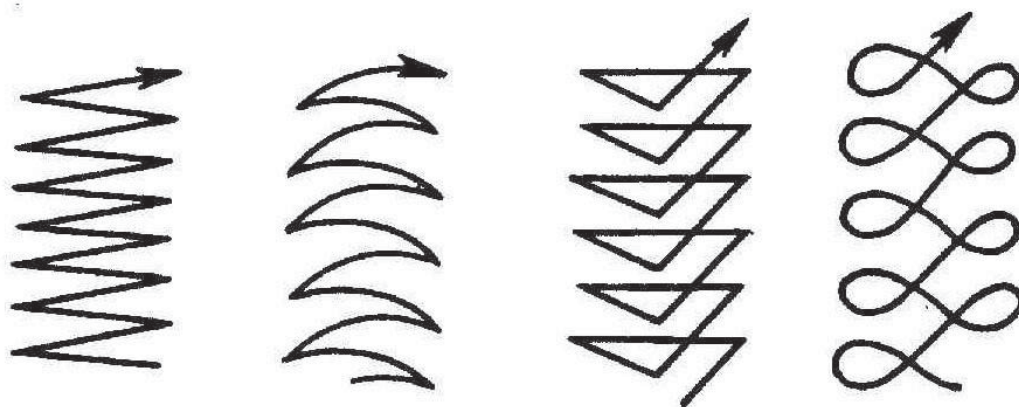


Рис. 12.5. Колебательные движения электрода при ручной дуговой сварке

При горении дуги в жидком металле образуется кратер, являющийся местом скопления неметаллических включений, что может привести к возникновению трещин. Поэтому в случае обрыва дуги (а также при смене электрода) повторное зажигание ее следует производить впереди кратера, а затем переместить электрод назад, переплавить застывший металл кратера и только после этого продолжить процесс сварки. Сварщик должен внимательно следить за расплавлением кромок деталей и торца электрода, проплавлением корня шва и не допускать затекания жидкого металла впереди дуги.

Заканчивают сварку заваркой кратера. Для этого или держат неподвижно электрод до естественного обрыва дуги, или быстро укорачивают дугу вплоть до частых коротких замыканий, после чего ее резко обрывают.

**Выполнение стыковых швов.** Стыковые швы применяют для получения стыковых соединений. Стыковые соединения со скосом одной или двух кромок могут выполняться однослойными или многослойными 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 месте зазора между кромками. При сварке многослойным швом после заполнения каждого последующего слоя предыдущий слой тщательно зачищают от шлака, так как в противном случае между отдельными слоями могут образоваться 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), когда появляются объемные напряжения и возрастает опасность образования трещин, выполняют с применением специальных приемов заполнения швов блоками или каскадом. При сварке блоками (рис. 12.6) 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.

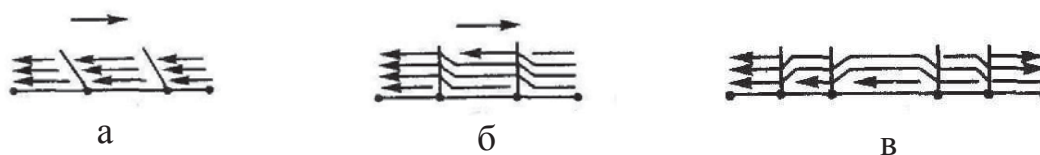


Рис. 12.6. Способы заполнения разделки кромок: а – заполнения блоками; б – односторонний каскад; в – двусторонний каскад



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 каскадном методе выполняется обратная ступенчатая сварка, при которой многослойный шов выполняют отдельными участками с полным заполнением каждого из них.

**Выполнение угловых швов.** Угловые швы применяют при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений. Сварка угловым швом может производиться наклонным электродом и «в лодочку».

При сварке наклонным электродом возможно неполное проплавление корня шва или кромки горизонтальной детали. Во избежание непровара дугу возбуждают на горизонтальной полке в точке, отступив от границы шва на 3–4 мм. Затем дугу перемещают к вершине шва, где ее несколько задерживают для лучшего провара его корня, и поднимают вверх, проваривая вертикальную полку. Такой же процесс после некоторого перемещения электрода вперед повторяют и в обратном направлении. Угол наклона электрода в процессе сварки изменяется в зависимости от того, на какой полке в данный момент горит дуга. Начинать процесс сварки на вертикальной полке нельзя, так как в этом случае расплавленный металл с электрода будет натекает на еще холодный основной металл горизонтальной полки, в результате чего образуется непровар. На вертикальной же полке 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 сварке угловым швом «в лодочку» наплавленный металл располагается в желобке, образуемом двумя полками. Это обеспечивает правильное формирование шва и хороший провар его корня.

**Выполнение швов в нижнем положении.** Эти швы являются наиболее удобными для сварки, так как в этом положении капли электродного металла под действием собственного веса легко переходят в сварочную ванну и жидкий металл не вытекает из нее. Кроме того, наблюдение за сваркой при нижнем положении более удобно. В процессе сварки электрод наклоняют по направлению сварки на угол 10–20°.

**Выполнение швов в вертикальном положении.** В этом случае электродный металл и основной стремятся стечь вниз. Поэтому вертикальные швы выполняют очень короткой дугой, при которой расстояние между каплями на электроде и жидким металлом в сварочной ванне настолько мало, что между ними возникает взаимное притяжение. Благо-

даря этому капли электродного металла сливаются со сварочной ванной при малейшем касании их между собой. Вертикальные швы выполняют как снизу вверх, так и сверху вниз. В первом случае дуга возбуждается в самой нижней точке вертикально расположенных пластин, и после образования ванны жидкого металла электрод, установленный сначала горизонтально (положение 1), отводится несколько вверх (положение 2). 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 поперек оси шва с отводом его вверх и поочередно в обе стороны. Это обеспечивает быстрое затвердевание жидкого металла.

Сварку сверху вниз применяют 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 самой верхней точке пластин при горизонтальном расположении электрода. После образования ванны жидкого металла электрод наклоняют на  $15-20^\circ$  с таким расчетом, чтобы дуга была направлена на основной и наплавленный металл. Для улучшения условий формирования шва амплитуда колебательных движений электрода должна быть небольшой, а дуга – очень короткой, чтобы капли расплавленного металла удерживались от стекания вниз.

**Выполнение швов в горизонтальном положении.** Эти швы выполнять труднее, чем в вертикальном положении. Для предупреждения стекания жидкого металла скос кромок обычно делается на одной верхней детали. Дуга в этом случае возбуждается на нижней горизонтальной кромке (положение 1), а затем переносится на притупление деталей и затем на верхнюю кромку (положение 2), поднимая вверх стекающую каплю металла. Колебательные движения электродом совершают по спирали. Выполнять горизонтальными сварными швами нахлесточные соединения легче, чем стыковые, так как горизонтальная кромка листа способствует удержанию расплавленного металла от стекания вниз. При выполнении горизонтальных швов с двумя скосами кромок устанавливают порядок их заполнения, который в процессе проваривания верхней кромки позволяет избежать потолочного положения расплавленного металла.

**Выполнение швов в потолочном положении.** Эти швы являются наиболее трудными. Объясняется это тем, что масса капли препятствует переносу металла с электрода в сварочную ванну, а расплавленный металл стремится вытечь из ванны вниз. Поэтому в процессе сварки нужно

добиться, чтобы объем сварочной ванны был небольшим. Это достигается применением электродов малого диаметра (не более 3–4 мм) и сварочного тока пониженной силы. Основным условием получения качественного шва является поддержание самой короткой дуги путем периодических замыканий электрода с ванной жидкого металла. В момент замыкания капли металла под действием сил поверхностного натяжения втягивается в сварочную ванну. В момент удаления электрода дуга гаснет и металл шва затвердевает. Одновременно электроду сообщаются также и колебательные движения поперек шва. Наклон электрода к поверхности детали должен составлять 70–80° в направлении сварки.

**Выполнение швов различной длины.** Все сварные швы в зависимости от их длины условно разбивают на три группы: короткие – до 250 мм, средней длины – от 250 до 1000 мм, длинные – от 1000 мм и более.

Короткие швы выполняют «на проход» в одном направлении, т.е. при движении электрода от начала шва к концу (рис. 12.7, а).

При выполнении швов средней длины и длинных возможно короблению изделий. Чтобы избежать этого, швы средней длины выполняют «на проход» от середины сварного соединения к концам (рис. 12.7, б) и обратноступенчатым способом (рис. 12.7, в), сущность которого состоит в том, чтобы каждый из них мог быть выполнен целым числом электродов (двумя, тремя и т. д.). При этом переход от участка к участку совмещается со сменой электрода. 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. 12.7, г). В данном случае возможно организовать работу одновременно двух сварщиков.

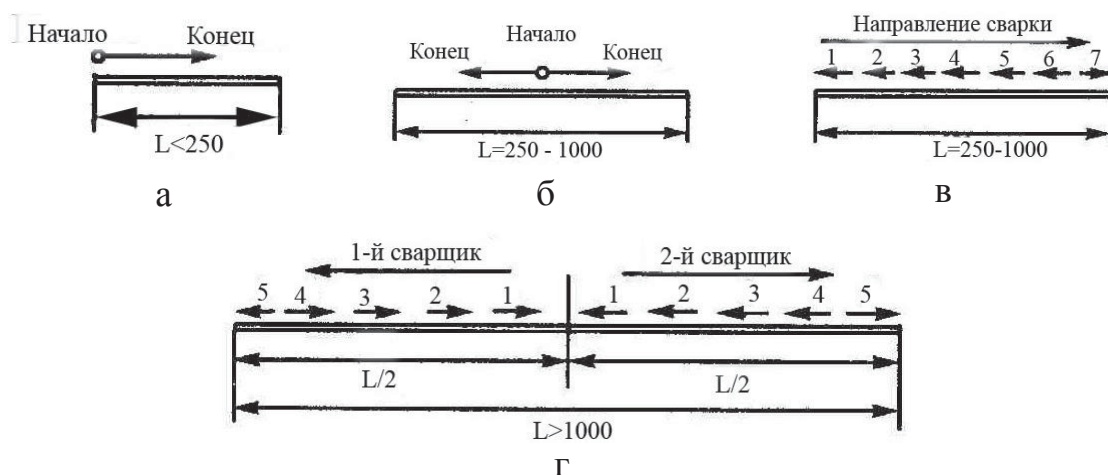


Рис. 12.7. Выполнение швов разной длины

## ВОПРОСЫ

1. Как производится подготовка конструкций к сварке?
2. Что называют режимом сварки?
3. Какова роль режимов сварки в формировании сварочной ванны и выборе оптимальных значений?
4. Каковы особенности ручной дуговой сварки швов при разном положении их в пространстве?
5. Каковы особенности и способы выполнения ручной дуговой сваркой швов различной длины?
6. При каких положениях электрода и детали при сварке будет получена большая глубина проплавления?
7. Какие способы увеличения производительности применяют при ручной дуговой сварки?
8. Чем отличаются способы ручной дуговой сварки плавящимся и неплавящимся электродами?
9. Как длина дуги влияет на качество сварного шва?
10. Какие способы заполнения разделки кромок применяют при многопроходных швах?

## ГЛАВА 13. ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

### 13.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

Особенностью процесса автоматической дуговой сварки под флюсом является применение непокрытой сварочной проволоки и гранулированного (зернистого) флюса (рис. 13.1).

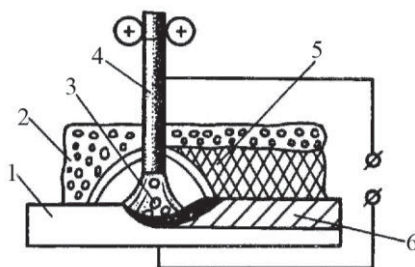


Рис. 13.1. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом:

1 – деталь; 2 – флюс; 3 – дуга; 4 – электродная проволока;

5 – твердый шлак; 6 – сварной шов

Сварку ведут закрытой дугой, горячей под слоем флюса в пространстве газового пузыря, образующегося в результате выделения паров и газов в зоне дуги. Сверху сварочная зона ограничена пленкой расплавленного шлака, снизу – сварочной ванной. Среда в сварочной зоне является наиболее благоприятной с точки зрения защиты металла от взаимодействия с воздухом. По мере сварки давление газов и паров в пузыре возрастает. Наступает момент, когда пленка расплавленного шлака прорывается и избыток газов удаляется в окружающую атмосферу. Такой процесс удаления газов периодически повторяется.

Хороший контакт шлака и металла в сварочной ванне, наличие изолированного от внешней среды пространства обеспечивают благоприятные условия для защиты и металлургической обработки металла сварочной ванны и тем способствуют получению швов с высокими механическими свойствами. Кроме того, флюс препятствует разбрызгиванию жидкого металла и способствует созданию более благоприятных условий при охлаждении и кристаллизации металла шва.

Сварку под флюсом выполняют плавящимся электродом. Дуга горит вблизи переднего края ванны, несколько отклоняясь от вертикального положения в сторону, обратную направлению сварки. Под влиянием давления дуги жидкий металл также оттесняется в сторону, противоположную направлению сварки, образуя кратер сварочной ванны. Под дугой находится тонкая прослойка жидкого металла, от толщины которой во многом зависит глубина проплавления. Расплавленный

флюс, попадающий в ванну, вследствие значительно меньшей плотности всплывает на поверхность расплавленного металла шва и покрывает его плотным слоем застывшего шлака.

Хорошая тепловая изоляция сварочной дуги, повышенное давление газовой среды над ванной и большая плотность тока (плотность энергии в пятне нагрева достигает  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup>) способствуют более глубокому проплавлению свариваемого металла. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить глубину разделки и сократить количество металла, необходимого для наплавки при образовании швов. Эти факторы являются решающими в повышении производительности процесса. Высокая производительность и качество получаемых швов, а также возможность автоматизации процесса – основные достоинства сварки под флюсом. К недостаткам процесса следует отнести трудности сварки деталей небольшой толщины и выполнение швов в положениях, отличных от нижнего. Затруднено визуальное наблюдение за процессом. Сваркой под флюсом соединяют стали, алюминий, титан, медь и их сплавы. Для выполнения сварки под флюсом обычно используют источники питания, имеющие пологопадающие вольтамперные характеристики, сварочные автоматы подвесного или передвижного типов и шланговые сварочные полуавтоматы.

### **13.2. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ ПОД СВАРКУ**

Подготовка кромок состоит в ровной резке и разделке кромок их по определенной форме в зависимости от толщины металла. Основные типы, конструктивные элементы и размеры швов сварных соединений, выполняемых автоматической и механизированной сваркой под флюсом, регламентированы ГОСТ 8713-79.

*В зависимости от толщины свариваемого металла по форме подготовленных кромок сварные швы могут выполняться: с отбортовкой кромок, без скоса кромок, со скосом одной или двух кромок.*

*По характеру выполнения швы могут быть односторонними и двусторонними.*

Для выполнения разделки кромок используют механизированную кислородную резку, механическую резку на гильотинных ножницах, а также обработку на токарных, карусельных и кромко-строгальных станках.

Ручная кислородная резка иногда требует дополнительной зачистки кромок пневматическим зубилом или абразивным инструментом для устранения неровностей и наплывов шлака. Подготовленные кромки перед сборкой должны быть очищены от ржавчины, масла, краски, влаги и

других загрязнений, наличие которых может привести в процессе сварки к образованию пор, шлаковых включений и других дефектов. Тонкий слой окалины на поверхности кромок большого влияния на качество шва не оказывает. Очистке подвергаются торцовые кромки свариваемых деталей, а также прилегающие к ним участки металла шириной 25–30 мм.

Очистка может производиться как механическими способами (вращающимися щетками из стальной проволоки, абразивным инструментом и др.), так и газопламенной обработкой. В последнем случае используют обычные сварочные или специальные многопламенные горелки для газовой сварки. Такой процесс очистки основан на быстром нагреве поверхности детали, при котором окалина отслаивается, ржавчина обезвоживается, краска сгорает, а влага испаряется. Остатки продуктов сгорания удаляют металлической щеткой. Детали после их сборки не очищают, так как при очистке в зазоры могут попасть различные загрязнения, вызывающие пористость шва. Собранные конструкции перед сваркой можно только продувать сжатым воздухом или прожигать газовой горелкой.

Сборку деталей под автоматическую сварку выполняют более тщательно, чем под ручную. Глубокий провар, жидкотекучесть расплавленного металла и постоянная скорость сварки приводят к необходимости выдерживания при сборке одинаковых зазоров, углов разделки и притупления кромок, так как в противном случае возможно образование непроваров или прожогов. Особое внимание следует уделять равномерности зазора по всей протяженности шва, так как в местах с повышенным зазором швы получаются вогнутыми, а в местах с небольшими зазорами, кроме уменьшения проплавления, получается большая выпуклость шва. Величины зазоров и смещения кромок при сборке соединений для деталей различных толщин установлены ГОСТ 8713-79 и 11533-75.

Если свариваемые кромки имеют разную толщину, то должен быть сделан скос с одной или двух сторон листа большей толщины (рис. 13.2).

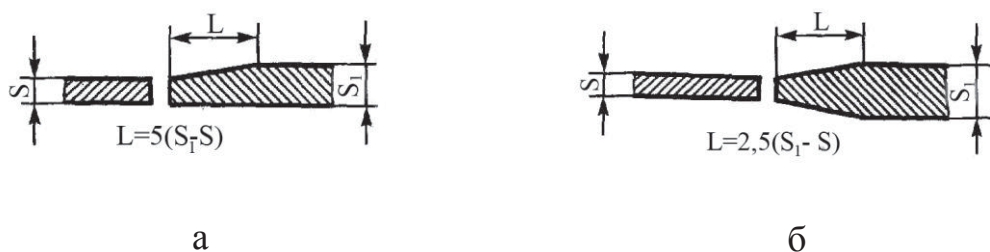


Рис. 13.2. Разделка кромок под сварку листов разной толщины:  
а – односторонний скос; б – двусторонний скос

Допустимые смещение (превышение) свариваемых кромок друг относительно друга приведены ниже (табл. 13.1).

Таблица 13.1

*Допустимое смещение свариваемых кромок*

Толщина листов, мм	до 4	4–10	более 10
Допустимые смещения кромок, мм	1	2	0,1S но не более 3 мм

При сборке детали временно закрепляют струбцинами, скобами, прихватками или другими способами. Прихватки выполняют длиной 50–80 мм покрытыми электродами, предназначенными для сварки данной марки стали. Перед сваркой все прихватки должны быть тщательно очищены от шлака и брызг расплавленного металла.

При сварке в начале шва, когда основной металл еще недостаточно прогрет, возможно образование непроваров. В конце шва в заплавленном кратере могут образоваться поры и трещины. Поэтому сварку следует начинать на входных, а заканчивать на выходных технологических планках (рис. 13.3), которые после остывания шва удаляют. Разделка кромок входных и выходных технологических планок должна быть такая же, как и кромок основного соединения.

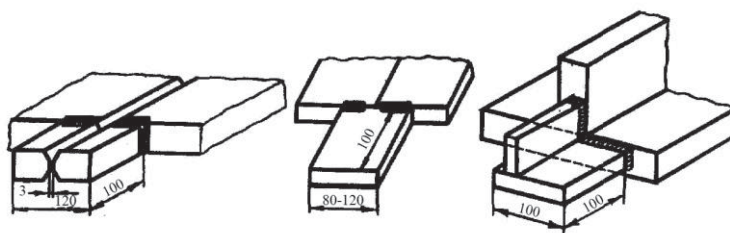


Рис. 13.3. Входные и выходные планки

Входные и выходные технологические планки являются также и скрепляющими элементами при сборке, поэтому их следует приваривать покрытыми электродами, предназначенными для сварки стали данной марки, обязательно с полным проваром. Если провар будет неполным, то в начале шва возможно образование продольных горячих трещин, которые могут распространяться и на основной шов.

### **13.3. РЕЖИМЫ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ**

Режим автоматической сварки под флюсом включает ряд параметров. Основные из них – сила сварочного тока, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр электрода, род и полярность тока. Дополнительные параметры – вылет электрода, наклон электрода и др.



Параметры режима сварки выбирают исходя из толщины свариваемого металла и требуемой формы сварного шва, которая определяется глубиной проплавления и шириной шва. Режим сварки определяют по экспериментальным (справочным) таблицам или приближенным расчетом с последующей проверкой на технологических пробах. Обычно режим сварки выбирают в следующем порядке: в зависимости от толщины свариваемого металла выбирают диаметр электродной проволоки, затем в зависимости от диаметра устанавливают силу сварочного тока, далее скорость подачи электрода и скорость сварки. Примерные режимы автоматической сварки под флюсом приведены в таблице 13.2.

Таблица 13.2

*Режимы сварки под флюсом*

Способ сварки	Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
Автоматическая сварка под флюсом	5	3	450–500	32–34	35
	10	5	700–750	34–36	30

Ниже рассматривается влияние перечисленных параметров режимов на формирование шва и приводятся рекомендации к их выбору.

**Сила сварочного тока.** От силы тока зависит тепловая мощность дуги. При увеличении силы тока количество выделяющейся теплоты возрастает и увеличивается давление дуги на ванну. Это приводит к увеличению глубины проплавления основного металла и доли участия его в формировании швов. Ширина шва при этом практически мало изменяется (рис. 13.4, а).

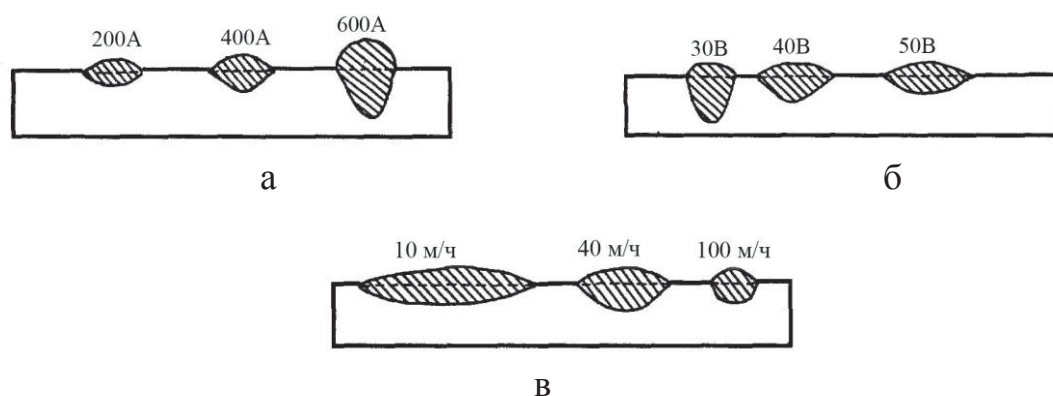


Рис. 13.4. Влияние параметров режима на форму шва: а – варочный ток; б – напряжения дуги; в – скорость сварки

**Диаметр электродной проволоки.** При увеличении диаметра электродной проволоки и неизменном сварочном токе плотность тока на электроде уменьшается, одновременно усиливается блуждание дуги между концом электрода и поверхностью сварочной ванны, что приводит к возрастанию ширины шва и уменьшению глубины провара. И, наоборот, при уменьшении диаметра электродной проволоки плотность тока в ней увеличивается, уменьшается блуждание дуги, происходит концентрация теплоты на малой площади сварочной ванны и глубина провара возрастает, ширина шва при этом уменьшается. Это позволяет при сварке тонкой электродной проволокой сравнительно на небольших токах получать глубокий провар.

**Напряжение дуги.** Из всех параметров режимов автоматических способов дуговой сварки напряжение дуги (рис. 13.4, б) оказывает наибольшее влияние на ширину шва. С повышением напряжения дуги увеличиваются ее длина и подвижность, в результате чего возрастает доля теплоты, идущей на плавление поверхности основного металла и флюса. Это приводит к значительному увеличению ширины шва, причем глубина проплавления уменьшается, что особенно важно при сварке тонкого металла. Несколько уменьшается и высота выпуклости шва.

С повышением напряжения дуги увеличение ширины шва зависит и от рода тока. При одних и тех же напряжениях дуги ширина шва при сварке на постоянном токе, а в особенности при обратной полярности, значительно больше ширины шва, выполненного на переменном токе.

**Род тока и полярность.** Характер зависимости формы и размеров шва от основных параметров режимов сварки при переменном токе примерно такой же, как и при постоянном. Однако полярность постоянного тока оказывает различное влияние на глубину проплавления, что объясняется разным количеством теплоты, выделяемой на катоде и аноде. При дуговой сварке под флюсом постоянным током применяется, как правило, обратная полярность.

**Скорость сварки.** Влияние скорости сварки (рис. 13.4, в) на глубину проплавления и ширину шва носит сложный характер.

Сначала при увеличении скорости сварки столб дуги все больше вытесняет жидкий металл, толщина прослойки жидкого металла под дугой уменьшается и глубина проплавления возрастает. При дальнейшем увеличении скорости сварки (более 40–50 м/ч) заметно уменьшается погонная энергия и глубина проплавления начинает уменьшаться. Во всех случаях при увеличении скорости сварки ширина постоянно уменьшается. При скорости сварки более 70–80 м/ч основной металл не успевает достаточно прогреться, в результате чего по обеим сторонам шва возможны несплавления кромок или подрезы. При необходимости ведения

сварки на больших скоростях применяют специальные методы (двухдуговая, сварка трехфазной дугой и др.).

**Скорость подачи электродной проволоки.** Этот параметр режима сварки тесно связан с силой сварочного тока и напряжением дуги. Для устойчивого процесса сварки скорость подачи электродной проволоки должна быть равна скорости ее плавления. При недостаточной скорости подачи проволоки возможны периодические обрывы дуги, при слишком большой скорости происходят частые короткие замыкания электрода на сварочную ванну. Все это ведет к появлению непроваров и неудовлетворительному формированию шва.

**Вылет электрода.** С увеличением вылета электрода возрастает интенсивность его предварительного подогрева проходящим сварочным током. Электрод плавится быстрее, а основной металл остается сравнительно холодным. Кроме того, увеличивается длина дуги, что приводит к уменьшению глубины проплавления и некоторому увеличению ширины шва. Обычно вылет составляет 40–60 мм.

**Наклон электрода вдоль шва.** Обычно сварку выполняют вертикально расположенным электродом, но в отдельных случаях она может производиться с наклоном электрода углом вперед или углом назад (рис. 13.5, а).

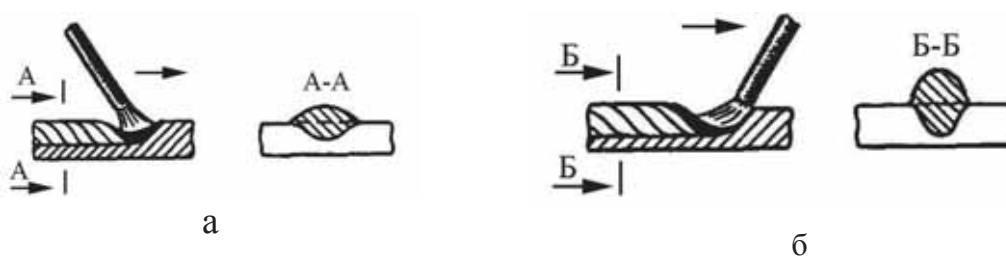


Рис. 13.5. Влияние наклона при сварке на форму шва:  
а – электрода; б – детали

При сварке углом вперед жидкий металл подтекает под дугу, толщина его прослойки увеличивается, а глубина проплавления уменьшается. Уменьшается также высота выпуклости шва, но заметно возрастает ширина, что позволяет использовать этот метод при сварке металла небольшой толщины. Кроме того, при сварке углом вперед лучше проплавляются свариваемые кромки, что дает возможность производить сварку на повышенных скоростях. При сварке углом назад жидкий металл давлением газов вытесняется из-под дуги, т.е. толщина его прослойки под дугой уменьшается, а глубина проплавления увеличивается. Увеличивается также высота выпуклости шва, но значительно уменьшается его ширина. Ввиду глубокого проплавления и недостаточного прогрева свариваемых кромок возможны несплавления основного металла с

наплавленным и образованием пористости шва. Учитывая это, данный метод применяют ограниченно, в основном при сварке металла большой толщины на больших скоростях, например при двухдуговой сварке или выполнении кольцевых швов небольшого диаметра.

**Наклон изделия.** Обычно автоматическая и механизированная сварка под флюсом производится в нижнем положении (рис. 13.5, *а*). Возможна сварка на подъем или на спуск (рис. 13.5, *б*). При сварке на подъем жидкий металл под действием собственного веса вытекает из-под дуги, толщина его прослойки уменьшается, что приводит к увеличению глубины проплавления и уменьшению ширины шва. При угле наклона 6–8° по обе стороны шва могут образоваться подрезы, ухудшающие форму шва.

При сварке на спуск расплавленный металл подтекает под дугу, что приводит к увеличению толщины его прослойки. Глубина проплавления при этом уменьшается. Этот метод, позволяющий несколько увеличить скорость сварки при хорошем формировании шва и небольшой глубине проплавления, применяется при сварке тонкого металла. При угле наклона более 15–20° происходит сильное растекание электродного металла, который только натекает на поверхность свариваемого изделия, но не сплавляется с ним, поэтому не применяется.

**Марка флюса и его грануляция.** Различные флюсы обладают разными стабилизирующими свойствами, с повышением которых увеличиваются длина дуги и ее напряжение, в результате чего возрастает ширина шва и уменьшается глубина проплавления. Чем крупнее флюс, тем меньше его объемная масса. Флюсы с малой объемной массой (крупнозернистые стекловидные и пемзовидные) оказывают меньшее давление на газовую полость зоны сварки, что способствует получению более широкого шва с меньшей глубиной проплавления. Применение мелкозернистого флюса с большей объемной массой приводит к увеличению глубины проплавления и уменьшению ширины шва.

#### **13.4. СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ СТЫКОВЫХ И УГЛОВЫХ ШВОВ**

Стыковые соединения являются наиболее технологичными в исполнении и работоспособными в эксплуатации. По характеру выполнения они могут быть одно- и двусторонними. При сварке односторонних стыковых соединений существует опасность вытекания жидкого металла в зазор и образования прожогов. Для предотвращения этого применяют ряд технологических мер: сварку на подкладках (флюсовой подушке, подкладке из меди, остающейся подкладке), сварку по ручной подварке корня шва и др. (рис. 13.6, 13.7).



Рис. 13.6. Флюсовая подушка: а – поджатие сжатым воздухом; б – поджатием весом изделия; 1 – эластичный шланг; 2 – флюс

**Сварка на флюсовой подушке.** Флюсовой подушкой называют уплотненный слой мелкого флюса, который прижимают к обратной стороне сварного соединения в процессе его сварки (рис. 13.6). При подаче сжатого воздуха в эластичный шланг 1 последний расширяется и прижимает слой флюса 2 к свариваемому стыку. В процессе сварки кромки полностью проплавляются и образуется шов с выпуклостями с верхней и нижней стороны. При сварке изделий с достаточной массой прижатие к флюсовой подушке производится за счет массы самого изделия. В процессе сварки слой флюса предохраняет металл сварочной ванны от протекания, защищает его от воздуха и способствует формированию обратной стороны шва.



Рис. 13.7. Подкладки для сварки стыковых швов: а – медные; б – флюсомедные; в – остающиеся; г – полка в одном из листов

**Сварка на медной подкладке.** Съёмные медные подкладки применяют при сварке металла небольших толщин. Подкладки могут иметь специальные формирующие канавки для формирования валика с обратной стороны шва, каналы для пропускания охлаждающей воды, отверстия для подачи защитного газа с обратной стороны медной подкладки. В этом случае в медной подкладке делают широкую канавку (шириной 12–20 мм, глубиной 1,5–2,5 мм), в которую перед сваркой засыпают слой мелкого флюса. Слой флюса выполняет те же функции, что и при сварке на флюсовой подушке, и одновременно защищает медную

подкладку от приваривания к стыку. После сварки использованный слой флюса снимают и засыпают свежий.

**Сварка на остающейся подкладке.** Остающейся подкладкой считают узкую пластину из однотипного металла со свариваемым металлом, прикрепляемую с обратной стороны стыка для предотвращения протекания расплавленного металла сварочной ванны и образования прожогов и остающуюся после сварки. Остающаяся подкладка обычно применяется в зависимости от толщины свариваемого металла шириной 10–40 мм и толщиной 2–4 мм. Подкладка плотно подгоняется под нижнюю сторону стыка и закрепляется прихватками. При сварке подкладка приваривается к свариваемому соединению, что обеспечивает полный провар свариваемых кромок. Такой прием применяют в тех случаях, когда невозможно производить сварку с обратной стороны стыка или невозможно применение съемной подкладки. Остающаяся подкладка не должна мешать в работе изделия при эксплуатации и требует дополнительного расхода металла. Поэтому такой вариант применяется ограниченно.

**Сварка по подварочному шву.** Используется при невозможности обеспечения качественной сборки стыков и отсутствии специальных приспособлений, предотвращающих протекание жидкого металла.

При двусторонней сварке стыковое соединение собирают с одинаковым зазором по всей длине стыка. Сварку с одной стороны производят на весу с обеспечением проплавления на глубину 60–70 % от толщины листов, после чего сваривают шов с обратной стороны стыка. При неравномерном зазоре в стыке первый проход можно проводить на подкладке (флюсовой или флюсомедной). Сварку толстого металла производят многослойными швами с предварительной разделкой кромок. Двусторонняя сварка менее производительна, но и менее чувствительна к колебаниям режима и не требует специальных приспособлений для формирования обратной стороны шва.

Угловые швы могут выполняться вертикально или наклонно расположенным электродом. Сварку вертикальным электродом чаще всего применяют при выполнении шва «в лодочку». Сварка «в лодочку» обеспечивает хорошее формирование шва и может выполняться при симметричном или несимметричном расположении свариваемых листов. Кроме того, сварку вертикальным электродом применяют при изготовлении нахлесточного соединения с оплавлением верхней кромки или с проплавлением верхнего листа. Сварку наклонным электродом применяют тогда, когда изделие нельзя установить в положение «лодочки». При сварке наклонным электродом существует опасность образования подрезов на вертикальном листе и наплывов с непроварами – на гори-

зонтальном, что особенно часто наблюдается при сварке швов с катетом более 8 мм. Поэтому сварку швов больших сечений производят в несколько проходов.

### 13.5. СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

Кольцевые швы применяют при сварке стыков труб и обечаек, приварке днищ, фланцев, а также других деталей при сварке цилиндрических сосудов.

Для предотвращения протекания жидкого металла и шлака в зазор первый слой стыкового кольцевого шва труб большого диаметра выполняют на флюсоремной подушке (рис. 13.8), представляющей собой прорезиненный ремень, имеющий форму лотка, в который в процессе сварки непрерывно подается мелкий флюс.

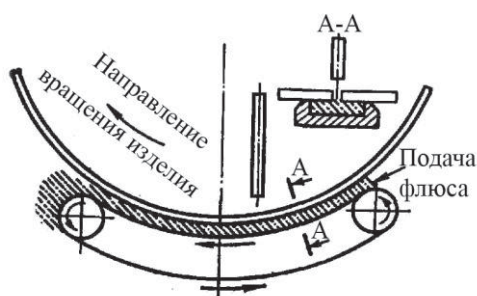


Рис. 13.8. Флюсоремная подушка для сварки кольцевых швов

Сварка первым слоем производится изнутри сосуда, а последующими – снаружи. При сварке кольцевыми швами диаметром до 800 мм часто применяют флюсомедные подкладки, которые могут быть неподвижными (рис. 13.9, а) или перекачиваемыми (рис. 13.9, б). Если флюсоремные подушки или флюсомедные подкладки отсутствуют, то места с повышенным зазором можно подваривать вручную. При сварке кольцевыми швами сосудов малого диаметра (100–200 мм) флюсовая подушка может быть образована заполнением всей внутренней полости изделия мелким флюсом. Возможна также сварка на остающейся подкладке – кольце.

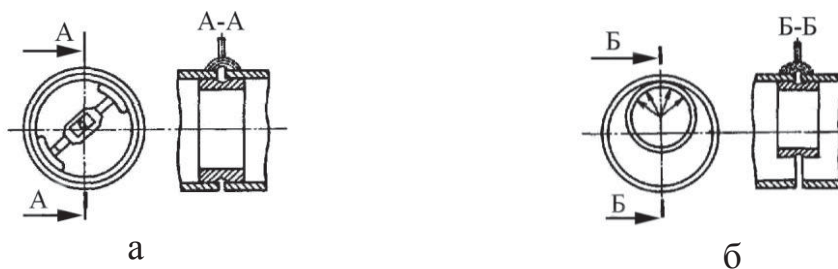
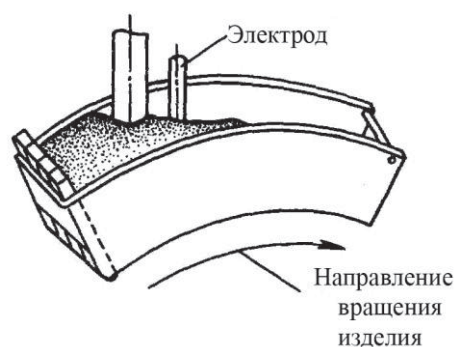


Рис. 13.9. Флюсомедные подкладки для сварки кольцевых швов

Для удержания нерасплавленного флюса на цилиндрической поверхности небольшого диаметра применяют специальные флюсовые коробочки (рис. 13.10), укрепляемые на головке автомата. При сварке кольцевыми швами диаметром до 800 мм дополнительную трудность создает стекание жидкого металла и шлака с цилиндрической поверхности. Для предотвращения этого явления электродная проволока устанавливается со смещением с зенита на 15–75 мм в зависимости от толщины свариваемого металла в сторону, противоположную направлению вращения изделия. Величина смещения зависит от диаметра изделия, а также режима сварки. При слишком большом смещении жидкий металл и шлак могут стекать в обратную сторону.



*Рис. 13.10. Флюсоудерживающее устройство для сварки кольцевых швов малого диаметра*

### ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности сварки под слоем флюса?
2. Какие предъявляются требования и применяются способы подготовки и сборки деталей для варки под флюсом?
3. Назовите параметры, определяющие условия при сварке под флюсом. Какова роль параметров режима сварки в формировании швов?
4. Каковы технология и особенности выполнения варкой под флюсом сварных соединений со стыковыми, угловыми и кольцевыми швами?
5. Как предотвратить появление прожогов при сварке под флюсом?



## ГЛАВА 14. ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

### 14.1. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Сущностью и отличительной особенностью дуговой сварки в защитных газах является защита расплавленного и нагретого до высокой температуры основного и электродного металла от вредного влияния воздуха защитными газами, обеспечивающими физическую изоляцию металла и зоны сварки от контакта с воздухом и заданную атмосферу в зоне сварки. Используют инертные и активные защитные газы (см. главу 12 «Сварочные материалы»).

При дуговой сварке применяют два основных способа газовой защиты: местную и общую в камерах (сварка в контролируемой среде). Наиболее распространенной является струйная местная защита в потоке газа, истекающего из сопла сварочной горелки. Качество струйной защиты зависит от конструкции и размеров сопла 1, расхода защитного газа и расстояния  $L$  от среза сопла А-А до поверхности свариваемого материала. В строении газового потока различают две области (рис. 14.1): ядро, струи 2 и периферийный участок 3.

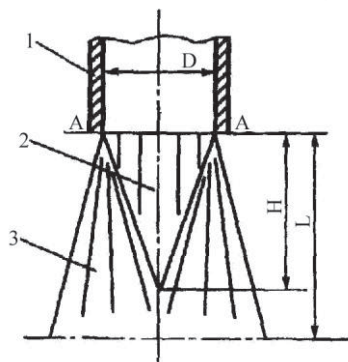


Рис. 14.1. Схема газового потока из сопла сварочной горелки:  
1 – сопло горелки; 2 – ядро потока; 3 – периферийная область;  
 $H$  – длина ядра потока;  $L$  – расстояние от среза до детали;  
 $AA$  – сечение среза сопла;  $D$  – диаметр сопла

При истечении в окружающую воздушную среду в ядре потока 2 сохраняются скорость и состав газа, имеющиеся в сечении А-А на срезе сопла. Периферийная же часть потока 3 представляет собой область, в которой защитный газ смешивается с окружающим воздухом, а скорость в любом сечении по длине потока изменяется от первоначальной (имеющейся на срезе сопла) до нулевой на внешней границе струи. Поэтому надежная защита металла может осуществляться только в пределах ядра потока. Чем больше высота  $H$  этого участка, тем выше его за-

щитные свойства. Максимальная высота  $H$  наблюдается при ламинарном истечении газа из сопла. При турбулентном характере истечения газа такое строение потока нарушается и защитные свойства его резко падают. Характер истечения зависит от конфигурации проточной части сопла, его размеров и расхода газа. На практике применяют три вида сопел: конические, цилиндрические и профилированные (рис. 14.2).

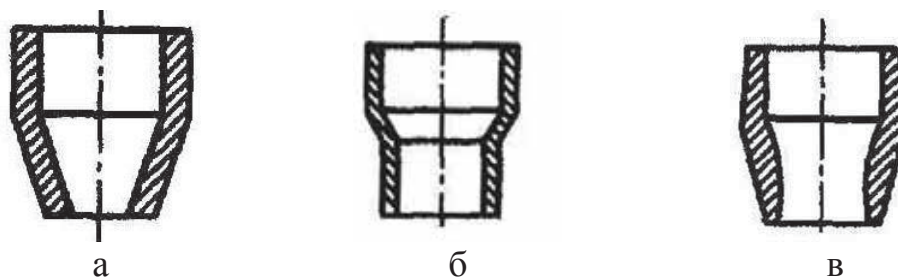


Рис. 14.2. Формы сопел сварочных горелок: а – коническая; б – цилиндрическая; в – профилированная

Расход защитного газа выбирают оптимальным для обеспечения истечения струи, близкого к ламинарному. Для улучшения струйной защиты на входе в сопло в горелке устанавливают мелкие сетки, пористые материалы и т.п., позволяющие дополнительно выравнивать поток газа на выходе из сопла. При сварке со струйной защитой возможен подсос воздуха в зону сварки. Для улучшения и увеличения области защиты, особенно при сварке активных материалов, к соплу горелки крепят дополнительные колпаки – приставки.

Наиболее эффективной является общая защита в камерах с контролируемой средой. Камеры заполняют инертным газом высокой чистоты под небольшим избыточным давлением (0,005–0,01 МПа), в камере располагаются свариваемое изделие и сварочное оборудование (автомат). Сварку производят внутри камеры изолированно от воздушной среды. Такой способ защиты обычно используют при сварке изделий из химически активных металлов (титан, цирконий, тантал, молибден и др.). Достоинства сварки в защитных газах – высокая производительность, высокое качество защиты, доступность наблюдения за процессом горения дуги, простота механизации и автоматизации, возможность сварки в различных пространственных положениях. Сварка в защитных газах может выполняться неплавящимся и плавящимся электродами. На рисунке 14.3 приведены схемы постов для различных вариантов дуговой сварки в защитных газах.

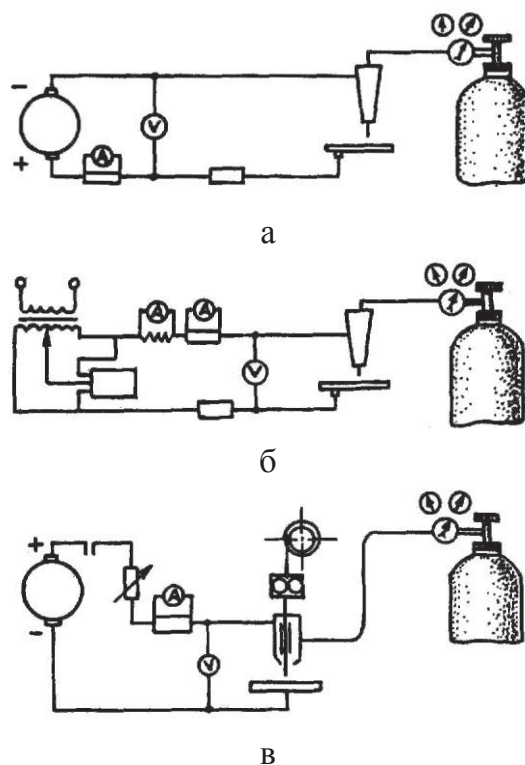


Рис. 14.3. Схемы постов для сварки в защитных газах: а – неплавящимся электродом в инертных газах на постоянном токе прямой полярности; б – то же, на переменном токе; в – плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности

## 14.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ РАЗБРЫЗГИВАНИЯ ПРИ СВАРКЕ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

Разбрызгивание электродного металла при сварке в  $\text{CO}_2$  является одним из основных недостатков этого способа сварки. Разбрызгивание сопровождается увеличением расхода электродной проволоки и защитного газа, забрызгиванием поверхности свариваемых деталей и деталей сварочной горелки. Все это приводит к увеличению себестоимости сварочных работ за счет увеличения затрат на материалы и повышению трудоемкости вследствие затрат труда на зачистку от брызг.

Основными причинами разбрызгивания является:

- увеличение размера капель электродного металла при повышении напряжения;
- недостаточная стабильность процесса сварки;
- реактивные силы, выталкивающие каплю металла из зоны сварки в начале короткого замыкания;

- интенсивное газовыделение в объеме жидкого металла капли и сварочной ванны, сопровождающееся взрывообразными выбросами расплавленного металла из сварочной ванны;

- газодинамический удар при разрушении перемычки между электродом и переходящей в сварочную ванну каплей при сварке с короткими замыканиями.

В настоящее время проблема снижения разбрызгивания является актуальной и работы, направленные на ее решение, ведутся в различных направлениях.

Все известные методы снижения разбрызгивания можно разделить на два направления.

1. Химические методы:

- использование газовых смесей для защиты зоны сварки;
- двухслойная защита;
- использование активированных и порошковых проволок.

2. Энергетические методы (методы, влияющие на энергетические процессы сварки):

- подбор режимов;
- импульсно-дуговая сварка;
- сварка пульсирующей дугой;
- сварка с принудительными короткими замыканиями;
- синергетические системы управления параметрами режима;
- импульсная подача сварочной проволоки.

**Сварка в смесях защитных газов.** Сущность способа состоит в том, что при изменении химического состава защитного газа в существенной степени изменяются физические и металлургические процессы сварки. Это проявляется, во-первых, через окислительную способность защитной среды, во-вторых, через ее теплофизические свойства, влияющие на дугу.

Инертные газы обладают рядом особенностей: отсутствием диссоциации и отрицательных ионов, низким напряжением горения дуги благодаря наличию метастабильных уровней возбуждения и ступенчатой ионизации. В зависимости от применяемого инертного газа изменяются поверхностное натяжение и размер капель электродного металла. А также коэффициент расплавления электрода.

Для дуги в углекислом газе характерны высокие значения теплопроводности и градиента потенциала в столбе дуги. Применение  $\text{CO}_2$  связано с нестабильностью горения дуги, вызванной силой, отталкивающей каплю вверх и в сторону, действующей против направления пе-

реноса металла и создаваемой высоким давлением газа внутри столба струями пара с поверхности сварочной ванны, ударяющими в каплю.

Рассмотрим влияние компонентов газовой среды на примере смеси для высокого производительного процесса TIG. Обычно используют 65 % Ar + 26,5 % He + 8 % CO<sub>2</sub> + 0,5 % O<sub>2</sub>.

Добавка гелия увеличивает потенциал ионизации и градиент потенциала в столбе дуги. Благодаря этому возрастают напряжение и энергия дуги. Плазменный поток становится более мощным и стабилизирует дугу.

Добавка O<sub>2</sub> к аргону повышает стабильность горения дуги и улучшает перенос металла, уменьшая разбрызгивание. Добавка кислорода к углекислому газу улучшает отделение брызг от основного металла, улучшает внешний вид шва и снижает склонность к образованию пор при сварке металла, покрытого ржавчиной.

Предлагается рассматривать действие парамагнитных сил и положительной магнитной восприимчивости кислорода и других газов на критическое значение тока перехода к струйному переносу. Предполагается, что наличие парамагнитного газа усиливает действие электродинамической силы, что приводит к уменьшению критического значения тока. Кроме того, существует возможность сепарации компонентов газовой смеси и концентрация кислорода вблизи расплавленной капли под воздействием магнитного поля, что снижает поверхностное натяжение металла.

Преимущества данного способа:

- 1) снижение уровня разбрызгивания;
- 2) переход к струйному переносу;
- 3) снижение уровня критического тока;
- 4) меньшая восприимчивость к качеству поверхности свариваемых изделий.

Недостатками же сварки в смесях защитных газов являются:

- 1) смеси на основе аргона дорогостоящие;
- 2) невозможность длительного хранения готовых смесей газов;
- 3) повышенная окислительная способность атмосферы;
- 4) отсутствие управляемости процесса (отсутствие управляемого переноса).

**Двухслойная защита.** Сущность заключается в использовании двух потоков защитного газа: внутреннего, по которому подают аргон, для улучшения защиты и уменьшения сжатия столба дуги и наружного, по которому подают углекислый газ. Подобная защита сварочной дуги обеспечивает стабильность горения дуги с минимальным разбрызгиванием.

### **Использование активированных и порошковых проволок.**

Сущность процесса состоит в том, что в зону сварки посредством проволоки вносятся некоторые химические элементы, влияющие на теплофизические свойства сварочной дуги.

При сварке проволоками различных систем легирования наибольшее влияние на характеристики переноса электродного металла оказывает кремний. Другие элементы, как алюминий, титан, молибден, марганец, хром, никель и т.п., располагаются в соответствии с их способностью изменять поверхностное натяжение расплавленного металла.

При нанесении на поверхность проволоки покрытий, состоящих из тонкого слоя солей щелочных и щелочноземельных металлов (соли цезия + соли калия; соли цезия + соли натрия; растворов углекислого калия, а также оксиды других металлов  $Fe_3O_4$ ,  $SeO_2$ ), расширяются технологические возможности процесса сварки в результате повышения стабильности горения дуги и снижения разбрызгивания.

Наличие в сварочной дуге легкоионизируемых щелочных металлов резко уменьшает диаметр столба дуги, а площадь активных пятен расширяется. Электромагнитная сила способствует отрыву капель электродного металла.

Введение в электродную проволоку шихты, состоящей из 10 %  $K_2CO_3$ ; 10 %  $Na_2CO_3$ ; 5 %  $CaF_2$  (остальное двуокись титана) благоприятно сказывается на стабильности горения дуги и характере переноса металла. Применение активаторов на основе титана снижает разбрызгивание до 50 %.

К недостаткам активированных покрытий можно отнести его осыпание с поверхности проволоки. Эта проблема решается нанесением покрытия в процессе сварки при помощи специального устройства, устанавливаемого на сварочную горелку.

Существуют технологии изготовления проволок, поверхность которых насыщена кислородом, который увеличивает стабильность горения дуги и уменьшает разбрызгивание до 3% за счет снижения силы поверхностного натяжения.

С целью повышения стойкости против атмосферной коррозии, на проволоку наносят покрытие черный хром. Данное покрытие не только защищает проволоку от коррозии, но и снижает разбрызгивание и потери электродного металла.

Порошковые проволоки широко применяются для производства сварных изделий благодаря хорошим технологическим свойствам. Это направление сварочной техники широко развивается как в нашей стране, так и за рубежом. Флюс, входящий в состав порошковых проволок позволяет вводить в зону сварки компоненты, улучшающие ста-

бильность горения дуги, улучшающие формирование шва, обеспечивающие минимальные потери металла на угар и разбрызгивание, и позволяет применять различные системы легирования.

**Подбор режимов.** Стабильность процесса, качество формирования шва и разбрызгивание электродного металла зависят от правильного выбора параметров режима сварки. При правильно подобранных режимах, когда скорость подачи равна скорости плавления, разбрызгивание не превышает 6–10 %.

Для каждого диаметра проволоки имеется диапазон так называемого критического тока, при котором разбрызгивание увеличивается примерно в два раза. Эти режимы применять нерационально.

**Импульсно-дуговая сварка.** Способ заключается в наложении на дежурную дугу импульсов большого тока. Применяются два основных способа управления переносом металла при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом. В первом случае расплавление конца электрода и формирование на его торце капли необходимого размера происходят во время протекания, так называемого, базового тока. При наложении тока на дугу он только отрывает образовавшуюся ранее каплю от электрода. Во втором случае плавление и отрыв капли осуществляются одним и тем же импульсом тока. Базовый ток в этом случае служит только для поддержания горения дуги в промежутках между импульсами тока и практически не расплавляет проволоку. Само наложение импульсов, представляющих собой управляющие воздействия, существенно стабилизирует процесс сварки, так как компенсирует действие возмущений, вызываемых капельным переносом металла, блужданием активного пятна (особенно при малых токах) вследствие электромагнитных, тепловых и других влияний газовых потоков в дуге. Однако наблюдаются колебания основных энергетических параметров процесса – средних значений напряжения на дуге и сварочного тока. Эти изменения происходят при действии на дугу как внешних возмущений (колебания напряжения питающей сети, скорости подачи электродной проволоки из-за несовершенства подающих механизмов, неравномерность движения руки сварщика), так и закономерно возникающих в зоне сварки во время плавления электродной проволоки. В результате могут нарушаться стабильность процесса и геометрические размеры шва. Это, в конечном счете, ухудшает качество и уменьшает производительность сварки, а также не дает возможности вести процесс во всех пространственных положениях.

**Сварка пульсирующей дугой.** Сущность процесса заключается в том, что скорость и количество вводимой в изделие энергии определяется не только режимом сварки, но и периодичностью пульсации сва-

рочного тока. Последний, в свою очередь, задается в зависимости от теплофизических характеристик металла, типа соединения, геометрии и пространственного положения шва. При этом сварочный ток может изменяться от максимальной величины до минимальной или до нуля, а частота пульсации – от десятых долей до нескольких секунд. Это обуславливает следующие преимущества данного способа сварки:

- а) возможность реализации на стандартном оборудовании;
- б) электрические параметры дуги изменяются плавно по показательной функции, что способствует более рациональной отдаче тепла изделию;
- в) плавная пульсация мощности дуги обуславливает плавное изменение ее давления: чем больше объем сварочной ванны, тем медленнее нарастает давление на жидкий металл, что предотвращает выплески его, прожоги, снижает разбрызгивание;
- г) благодаря периодическому снижению мощности дуги и кристаллизации, в этот период ванны облегчается сварка в различных пространственных положениях;
- д) специфические условия структурообразования сварных соединений при сварке пульсирующей дугой обеспечивают высокие пластические свойства сварных соединений.

Но также можно выделить следующие недостатки.

Процесс сварки пульсирующей дугой протекает с многократными повторами нагревов и охлаждений в интервале температур превращений аустенита, которые усугубляют химическую и структурную неоднородность металла ЗТВ. Усиление неоднородности происходит в результате того, что в условиях многократных охлаждений периодически образуются и растворяются сложные агрегаты, включающие различные структурные составляющие. В общем случае могут образовываться феррит с различной степенью перенасыщения углеродом, карбиды, выделяющиеся как из феррита, так и из аустенита.

При сварке с пульсирующей дугой воздействие в основном ориентировано на сварную ванну. Процесс не управляет переносом металла. Снижение разбрызгивания является косвенным следствием.

**Сварка плавящимся электродом с принудительными короткими замыканиями.** Сущность данного способа заключается в том, что на интервале горения дуги в импульсе происходит интенсивное расплавление торца электрода и свариваемой детали. При этом вследствие силового воздействия дуги металл сварочной ванны вытесняется в хвостовую часть и удерживается там в течении всей стадии плавления. По истечении заданного времени горения дуги в импульсе производят ступенчатое уменьшение сварочного тока до значения тока паузы. Это приводит к соответствующему снижению скорости плавления элект-



трода и ослаблению силового воздействия дуги на сварочную ванну, которая стремится в этот момент заполнить кратер, образовавшийся под торцом электрода на стадии действия импульса тока. Одновременно с этим капля под действием сил тяжести и поверхностного натяжения стремится занять соосное с проволокой положение.

В результате этих встречных взаимонаправленных движений происходит принудительное короткое замыкание, в начальный момент которого в сварочной цепи производят увеличение тока, что позволит значительно повысить скорость нарастания тока короткого замыкания и тем самым ускорить образование и разрушение жидкой перемычки, причем на протяжении всей стадии короткого замыкания.

К преимуществам данного способа можно отнести:

- данный способ реализует управляемый перенос металла, что позволит управлять параметрами определяющими его;
- снижение объема сварочной ванны, а, значит, облегчение сварки в различных пространственных положениях;
- стабилизируется процесс горения дуги;
- снижается перегрев капли, что снижает выгорание элементов из металла;
- снижаются сварочные деформации;
- ширина зоны разупрочнения снижается в ряде случаев 3...4 раза.

К недостаткам можно отнести:

1) необходимость использования в комплекте сварочного образования специальных сильноточных импульсных регуляторов сварочного тока с малой инерцией;

2) необходимость использования большого количества обратных связей для управления каплеобразованием.

**Импульсно-дуговая сварка с синергетическим управлением параметрами режимов.** Выбор оптимальных параметров импульсов тока при сварке с синергетическим управлением базируется на следующих трех основных требованиях:

- для любой скорости подачи электродной проволоки параметры являются целью поддержания постоянной длины дуги;
- базовый ток должен обеспечивать стабильное горение дуги в паузе;
- для заданной скорости подачи электродной проволоки амплитуда, длительность и частота следования импульсов тока, а также значение базового тока автоматически устанавливаются таким образом, чтобы за каждый импульс тока отделялась одна капля электродного материала.

Таким образом, можно сказать, что сущность данного процесса заключается в том, что для любой скорости подачи электродной проволоки параметры импульсов тока, а также значения базового тока и длительность паузы строго соответствуют скорости плавления электрода.

При этом обеспечивается мелкокапельный перенос металла по принципу: один импульс – одна капля электродного металла.

Применение синергетического управления обеспечивает:

- простоту выбора и переналадки оптимальных параметров режима сварки;
- стабильность горения дуги при изменении скорости подачи проволоки, вылета электрода и напряжения сети;
- облегчение формирования шва во всех пространственных положениях;
- качественную заварку кратера и благоприятное начало шва;
- меньшую чувствительность сварных соединений к термическому разупрочнению металла околошовной зоны;
- возможность использования проволок увеличенного диаметра;
- меньший расход электродной проволоки на единицу длины шва.

К недостаткам импульсно-дуговой сварки с синергетическими системами управления параметрами режимов можно отнести:

- использование относительно низкой погонной энергии;
- необходимость в тщательной зачистке кромок от ржавчины, окалина, масла и краски во избежание образования дефектов сварного соединения;
- более высокая стоимость оборудования и затрат на его эксплуатацию, ремонт.

**Импульсная подача сварочной проволоки.** Сущность процесса сварки с импульсной подачей сварочной проволоки заключается в программировании скорости подачи электродной проволоки по законам, обеспечивающим контролируемый перенос капли расплавленного электродного металла в жидкую сварочную ванну.

В основу процесса дуговой сварки с импульсной подачей электродной проволоки положено использование дополнительной силы, которая прикладываясь к капле, резко изменяет характер плавления и переноса электродного металла аналогично импульсу электродинамической силы при импульсно-дуговом процессе. В данном случае дополнительной силой выступает сила инерции, действующая в период торможения электрода.

Дозирование переносимого металла происходит за счет установки оптимальных значений шага подачи и частоты следования импульсов.

Данный способ имеет ряд преимуществ по сравнению с постоянной подачей электродной проволоки:

- 1) осуществляется управляемый перенос металла;
- 2) меньшее выгорание элементов из расплавленного металла в результате уменьшения времени пребывания капли на торце электрода;
- 3) снижение разбрызгивания происходит за счет совместного действия силы поверхностного натяжения, действующей со стороны сварочной ванны, и остатков кинетической энергии капли, которая способствует увеличению скорости втягивания капли и одновременно утонению перемычки, вследствие чего при ее взрыве вместо брызг образуются искры.

Вследствие вышесказанного можно сделать вывод, что наиболее перспективными методами снижения разбрызгивания в настоящее время являются методы, обеспечивающие управляемый перенос расплавленного металла, а именно: импульсно-дуговые процессы и процесс сварки с импульсной подачей сварочной проволоки.

### **14.3. ПОДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ И РЕЖИМЫ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ**

Требования на подготовку деталей под сварку в защитных газах в основном аналогичны, как и для сварки под флюсом.

Основные типы и конструктивные элементы выполняемых дуговой сваркой в защитных газах швов сварных соединений из сталей, а также сплавов на никелевой и железоникелевой основах регламентированы ГОСТ 14771-76, которым предусмотрено четыре типа соединений при сварке металла толщиной от 0,5 до 100 мм и более. В зависимости от формы подготовки кромок и толщины свариваемых деталей швы выполняются в соединениях: с отбортовкой кромок, без скоса кромок, со скосом кромок одной или двух кромок как с одной, так и с двух сторон. По характеру выполнения швов они могут быть одно- и двусторонними. Односторонние швы могут выполняться как на весу, так и на различного рода съемных и остающихся подкладках.

Стандартом установлены следующие обозначения способов сварки в защитных газах: ИН – в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного материала, ИНП – в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом, ИП – в инертных газах и их смесях с углекислым газом и кислородом плавящимся электродом, УП – в углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом.

К основным параметрам сварочных режимов сварки в защитных газах относятся диаметр электрода или электродной проволоки, сварочный ток, напряжение дуги, скорость подачи электродной проволоки,

скорость сварки, вылет электрода, расход защитного газа, наклон электрода вдоль оси шва, род тока и полярность.

**Диаметр электродной проволоки.** Выбирается в пределах 0,5–3 мм в зависимости от толщины свариваемого металла и положения шва в пространстве. С уменьшением диаметра проволоки при прочих равных условиях повышается устойчивость горения дуги, увеличиваются глубина проплавления и коэффициент наплавки, уменьшается разбрызгивание жидкого металла.

С увеличением диаметра проволоки должна быть увеличена сила тока.

**Сварочный ток.** С увеличением сварочного тока повышается глубина проплавления. Это приводит к увеличению доли основного металла в шве. Ширина шва сначала несколько увеличивается, а затем уменьшается. Сварочный ток устанавливают в зависимости от диаметра электрода и толщины свариваемого металла.

**Напряжение дуги.** С увеличением напряжения дуги глубина проплавления уменьшается, а ширина шва увеличивается. Чрезмерное увеличение напряжения дуги сопровождается повышенным разбрызгиванием жидкого металла, ухудшением газовой защиты и образованием пор в наплавленном металле. Напряжение дуги устанавливается в зависимости от выбранного сварочного тока.

**Скорость подачи электродной проволоки.** Скорость подачи связана со сварочным током. Ее устанавливают с таким расчетом, чтобы в процессе сварки не происходило коротких замыканий и обрывов дуги, а протекал устойчивый процесс плавления электрода.

**Скорость сварки.** С увеличением скорости сварки уменьшаются все геометрические размеры шва. Она устанавливается в зависимости от толщины свариваемого металла и с учетом обеспечения хорошего формирования шва. Сварку металла большой толщины лучше выполнять более узкими валиками на большей скорости. При слишком большой скорости сварки конец электрода может выйти из зоны защиты и окислиться на воздухе. Медленная скорость сварки вызывает чрезмерное увеличение сварочной ванны и повышает вероятность образования пор в металле шва.

**Вылет электрода.** С увеличением вылета электрода ухудшаются устойчивость горения дуги и формирование шва, а также увеличивается разбрызгивание жидкого металла. Очень малый вылет затрудняет наблюдение за процессом сварки, вызывает частое подгорание газового сопла и токоподводящего контактного наконечника. Кроме вылета электрода, необходимо выдерживать определенное расстояние от сопла горелки до поверхности свариваемого металла, так как с увеличением это-

го расстояния ухудшается газовая защита зоны сварки и возможно попадание кислорода и азота воздуха в расплавленном металле. Величину вылета электрода, а также расстояние от сопла горелки до поверхности металла устанавливают в зависимости от выбранного диаметра электродной проволоки. Некоторые значения параметров при сварке в углекислом газе приведены в таблице 14.1.

Таблица 14.1

*Параметры сварки в углекислом газе*

Диаметр электродной проволоки, мм	0,5–0,8	1–1,4	1,6–2	2,5–3
Вылет электрода, мм	7–10	8–15	15–25	18–30
Расстояние от сопла горелки до металла, мм	7–10	8–14	15–20	18–22
Расход углекислого газа, дм <sup>3</sup> /мин	5–8	8–16	15–20	20–30

Расход защитного газа определяют в основном в зависимости от выбранного диаметра электродной проволоки и тепловой мощности дуги, зависящей от силы тока. Но на него оказывают также влияние скорость сварки, конфигурация изделия и наличие движения воздуха в цехе, ветра и т.п. Для улучшения газовой защиты в этих случаях приходится увеличивать расход защитного газа, уменьшать скорость сварки, приближать сопло к поверхности металла или пользоваться защитными щитами и другими устройствами.

**Наклон электрода вдоль оси шва** оказывает влияние на глубину проплавления и качество шва. При сварке углом вперед труднее вести наблюдение за формированием шва, но лучше видны свариваемые кромки и легче управлять электродом. Ширина шва при этом возрастает, а глубина проплавления уменьшается. Сварку углом вперед рекомендуется применять при небольших толщинах металла, когда существует опасность появления сквозных прожогов. При сварке углом назад улучшается видимость зоны сварки, повышается глубина проплавления и наплавленный металл получается более плотным.

#### **14.4. СВАРКА НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**

Для неплавящихся электродов при сварке в защитных газах могут применяться стержни вольфрама или графита. В основном сварку производят вольфрамовым электродом. Высокая стойкость его наблюдается при использовании защитных газов, не взаимодействующих с вольфрамом. Основным защитным газом является аргон, а процесс называют аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом. Горение дуги в гелии происходит при более высоком напряжении (в 1,4–1,7 раза выше, чем в аргоне). Это требует применения для питания дуги специализиро-

ванных источников с повышенным напряжением холостого хода. Поэтому, учитывая дефицитность гелия, этот процесс применяется гораздо реже. Чаще гелий используют как добавку к аргону. Применение аргонгелиевых смесей целесообразно в тех случаях, когда требуется повысить проплавляющую способность дуги без увеличения сварочного тока. Наряду с инертными газами для сварки вольфрамовым электродом используют и некоторые активные газы, например азот и водород или их смеси с аргоном.

Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом может выполняться с местной или общей защитой, без подачи или с подачей присадочной проволоки, на постоянном или переменном токе. Большинство металлов сваривают на постоянном токе прямой полярности. Сварку алюминия, магния и бериллия ведут на переменном токе.

При сварке на постоянном токе при прямой полярности обеспечиваются лучшие условия для термоэлектронной эмиссии с электрода, выше его стойкость и допускаемый предел силы тока. Например, предельная сила тока для вольфрамового электрода диаметром 3 мм ориентировочно составляет при прямой полярности 240–280 А, а при обратной – лишь 20–42 А, при переменном токе – промежуточное значение 140–160 А. Дуга на прямой полярности легко возбуждается и горит при напряжении 10–15 В в широком диапазоне плотностей тока. При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость горения, резко снижается стойкость электрода, повышаются его нагрев и расход. Эти особенности дуги обратной полярности делают ее непригодной для непосредственного применения в сварочном процессе. Однако дуга обратной полярности обладает важным технологическим свойством: при ее воздействии на поверхность свариваемого металла происходит удаление поверхностных оксидов. Происходит очистка поверхности металла. Это явление объясняется тем, что при обратной полярности поверхность металла бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые, перемещаясь под действием электрического поля от анода (электрод) к катоду (изделие), разрушают оксидные пленки на поверхности металла, а выходящие с катода (поверхности изделия) электроны способствуют их удалению. Этот процесс удаления поверхностных оксидов получил название процесса катодного распыления (катодной очистки). Указанное свойство используют при сварке алюминия, магния, бериллия и их сплавов, имеющих на поверхности прочные оксидные пленки. Поскольку же при постоянном токе обратной полярности стойкость вольфрамового электрода низка, то для этой цели используют переменный ток. При этом удаление пленки, т.е. катодная очистка, происходит в полярность сварочного тока, когда

свариваемое изделие является катодом. Таким образом, при сварке вольфрамовым электродом на переменном токе в определенной степени реализуются преимущества дуги прямой и обратной полярностей, т.е. обеспечиваются устойчивость электрода и разрушение поверхностных оксидов на изделии.

Аргонодуговая сварка может выполняться вручную или автоматически. На рисунке 14.4 показаны циклограммы процессов для различных вариантов сварки.

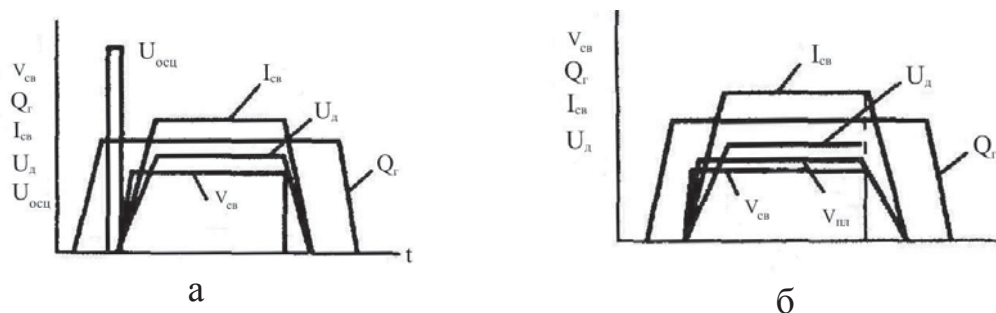


Рис. 14.4. Циклограмма процесса сварки в защитном газе: а – неплавящимся вольфрамовым электродом; б – плавящимся электродом;  $I$  – сварочный ток;  $U_d$  – напряжение дуги;  $V_{св}$  – скорость сварки;  $Q$  – расход защитного газа;  $V_{пл}$  – подача проволоки;  $U_{осц}$  – напряжение осциллятора

Защитный газ подают за 10–15 с до начала горения дуги. Дуга возбуждается кратковременным разрядом осциллятора или замыканием электрода и основного металла угольным стержнем. Ручную сварку производят наклонной горелкой углом вперед, угол наклона к поверхности изделия составляет 70–80°. Присадочную проволоку подают с передней стороны сварочной ванны под углом 10–15° к поверхности изделия. По окончании сварки дугу обрывают постепенно подъемом электрода для заварки кратера. Для защиты охлаждающегося металла подачу газа прекращают через 10–15 с после выключения тока.

Примерный режим ручной аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом стыкового соединения из высоколегированной стали толщиной 3 мм: диаметр вольфрамового электрода 3–4 мм, диаметр присадочной проволоки 1,6–2 мм, сварочный ток 120–160 А, напряжение дуги 12–16 В, расход аргона 6–7 дм<sup>3</sup>/мин. Ручную аргонодуговую сварку вольфрамовым электродом применяют главным образом для соединения металла относительно небольшой толщины (до 3 мм), при небольшой протяженности швов, имеющих сложную форму или расположенных в труднодоступных местах. Конструкции, имеющие протяженные швы, изготавливают автоматической сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом с подачей присадочной проволоки, выбранной в зависимости от мощности дуги или диаметра вольфрамового электрода

$$d_{\text{п}}=(0,5\dots 0,7)\times d. \quad (14.1)$$

При сварке вольфрамовым электродом используют источники питания с крутопадающими вольтамперными характеристиками.

#### **14.5. РАЗНОВИДНОСТИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ ВОЛЬФРАМОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ**

Основным недостатком способов сварки со свободногорящей дугой является их невысокая производительность. Разработано несколько разновидностей сварки вольфрамовым электродом, основанных на увеличении проплавливающей способности дуги за счет увеличения интенсивности теплового и силового воздействия дуги на свариваемый металл. К этим разновидностям относятся сварка погруженной дугой, с применением флюса, при повышенном давлении защитной среды, импульсно-дуговая, плазменная сварка.

**Сварка погруженной дугой.** С увеличением диаметра электрода и силы тока увеличивается давление дуги и удельное количество вводимой в металл теплоты. Под давлением дуги происходит отеснение под электродом жидкого металла. Дуга при этом погружается в сварочную ванну, а поддержание заданного напряжения (длины дуги) достигается опусканием электрода ниже поверхности свариваемого металла. Глубина проплавления достигает 10–12 мм и выше, расход аргона составляет 15–20 л/мин.

**Сварка с применением флюса.** Нанесение на поверхность свариваемых кромок слоя флюса небольшой толщины (0,2–0,5 мм), состоящего из соединений фтора, хлора и некоторых оксидов, способствует повышению сосредоточенности теплового потока в пятне нагрева и увеличению проплавливающей способности дуги. При этом благодаря высокой концентрации тепловой энергии повышается эффективность проплавления и снижается погонная энергия при сварке.

**Сварка при повышенном давлении защитной среды.** Мощность дуги возрастает с увеличением давления окружающей зону сварки защитной атмосферы при неизменной силе тока и длине дуги. Дуга при этом сжимается, благодаря чему увеличивается ею проплавливающая способность примерно на 25–60 %. Этот способ может использоваться при сварке в камерах с контролируемой средой, с применением общей защиты.

**Импульсно-дуговая сварка вольфрамовым электродом.** Заключается в применении в качестве источника теплоты импульсной дуги с целью концентрации во времени теплового и силового воздействия дуги на основной и электродный металл. При стесненном теплоотводе полнее используется теплота дуги на расплавление основного металла, чем при сварке постоянной дугой. Проплавливающая способность импульсной



дуги наиболее эффективно проявляется при сварке тонколистового металла толщиной до 2–3 мм. Дуга пульсирует с заданным соотношением импульса подачи тока и паузы (рис. 14.5).

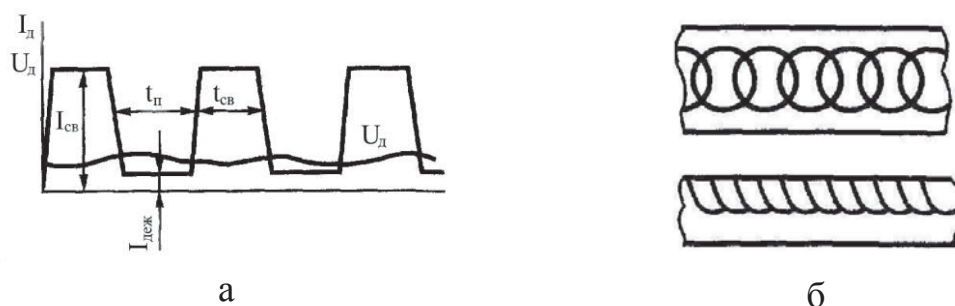


Рис. 14.5. Изменение силы тока и напряжения дуги при импульсной аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом и формирования шва:  
а – изменение параметров режима; б – формирование шва

Сплошной шов получается расплавлением отдельных точек с определенным перекрытием (рис 14.5, б). Повторные возбуждения и устойчивость дуги обеспечиваются благодаря горению маломощной дежурной дуги (10–15 % от силы тока в импульсе). Основной сварочный ток подается в виде отдельных импульсов (рисунок 14.5, а) большой силы. Наряду с силой тока, напряжением, скоростью сварки к основным параметрам импульсно-дуговой сварки относится длительность импульса  $t_{св}$  и паузы  $t_{п}$ , длительность цикла сварки

$$T = t_{св} + t_{п}, \quad (14.2)$$

шаг точек

$$S = V(t_{св} + t_{п}), \quad (14.3)$$

где  $V_{св}$  – скорость сварки.

Отношение  $t_{п}/t_{св} = G$  называют **жесткостью режима**. Жесткость режима при заданной энергии импульса и длительности цикла характеризует проплавляющую способность дуги. Изменяя параметры режима импульсно-дуговой сварки, можно в широких пределах изменять кристаллизацию металла шва и таким образом влиять на свойства сварных соединений. Технологические преимущества сварки импульсной дугой вольфрамовым электродом в наибольшей степени проявляются при сварке тонкого материала – отсутствуют дефекты формирования шва, провисания и подрезы, улучшаются условия формирования шва в различных пространственных положениях, снижаются требования к квалификации сварщика. Так, при сварке металла определенной толщины требуется значительно меньшая погонная энергия, существенно снижаются деформации и прожоги тонколистовых деталей.

**Сварка сжатой дугой.** Сварка сжатой дугой отличается от обычной дуговой сварки вольфрамовым электродом сжатием дуги в канале сопла горелки потоком плазмообразующего газа. Основные преимущества сжатой дуги – более высокая стабильность ее горения и повышенная концентрация энергии в пятне нагрева ( $10\text{--}10^5$  Вт/см<sup>2</sup>).

Сварка сжатой дугой осуществляется переменным или постоянным током прямой полярности. Возбуждают дугу с помощью осциллятора. Для облегчения возбуждения дуги прямого действия используют дежурную дугу, горящую между соплом горелки и электродом. Для питания плазмообразующей дуги требуются источники питания сварочного тока с рабочим напряжением до 126 В и более.

Сжатой дугой можно сваривать практически все металлы в нижнем и вертикальном положениях. В качестве плазмообразующего газа используют аргон и гелий, которые также могут быть и защитными, расход их составляет 0,2–1,5 л/мин. Плазменная сварка обладает высокой производительностью, малой чувствительностью к колебаниям длины дуги. Без скоса кромок можно сваривать за один проход металл толщиной до 15 мм. Сжатой дугой сваривают стыковые и угловые швы. Стыковые соединения на металле толщиной до 2 мм можно сваривать с отбортовкой кромок, при толщине деталей свыше 10 мм рекомендуется делать скос кромок. При необходимости можно использовать присадочный металл.

#### **14.6. СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**

Основными разновидностями сварки плавящимся электродом в защитных газах являются аргонодуговая сварка и сварка в углекислом газе.

Сварка в защитных газах плавящимся электродом имеет ряд особенностей. Так, устойчивое горение дуги обеспечивается при высокой плотности тока в электроде ( $100$  А/мм<sup>2</sup> и выше) при возрастающей вольтамперной статической характеристике. Стабильность параметров сварного шва (глубина проплавления и ширина (зависит от постоянства длины дуги, которая обеспечивается за счет процесса саморегулирования дуги при постоянной скорости подачи электродной проволоки. При этом соблюдается условие равенства скорости плавления электрода и его подачи. Так как процесс ведется на режимах с высокими плотностями сварочного тока, то обычно применяют электродную проволоку небольшого диаметра ( $d \approx 0,8\text{--}2,5$  мм), с большими скоростями ее подачи. В этих условиях процесс саморегулирования не может обеспечиваться при использовании источников питания с падающими характери-

стиками. Поэтому применяют источники питания с жесткой или возрастающей вольтамперной характеристикой. Сварку обычно ведут на постоянном токе обратной полярности. При прямой полярности скорость расплавления в 1,4–1,6 раза выше, чем при обратной, однако дуга горит менее стабильно с интенсивным разбрызгиванием.

К основным параметрам сварочного режима относятся сила тока, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр и скорость подачи электродной проволоки, расход защитных газов. Сварочный ток зависит от диаметра и состава электрода, его устанавливают в соответствии со скоростью подачи электродной проволоки. Скорость сварки обычно 15–80 м/ч, ее выбирают с учетом производительности и качества формирования шва. Выбор параметров режима обычно производят по экспериментальным табличным данным. Для улучшения формирования шва сварку проводят на медной подкладке с формирующей канавкой или на остающейся подкладке из основного металла. Для сварки тонколистового металла используют проволоку диаметром 0,5–1,2 мм. Металл толщиной до 4 мм сваривают без разделки кромок. При сварке с двух сторон можно сваривать без разделки кромок металл толщиной до 12 мм. При больших толщинах применяют разделку кромок.

**Аргонодуговая сварка плавящимся электродом** в основном применяется для сварки цветных металлов (алюминий, магний, медь, титан и их сплавы) и легированных сталей. Сварка производится на режимах с мелкокапельным и струйным переносом электродного металла. При струйном переносе глубина проплавления увеличивается. Критическое значение сварочного тока, при котором капельный перенос сменяется струйным, для каждого металла различно и зависит от диаметра проволоки. Так, при сварке сталей это происходит при плотности тока от 60 до 120 А на 1 мм<sup>2</sup> сечения электрода, при сварке алюминия – 70 А. Например, для электродной проволоки из стали марки Св-12Х18Н9Т для разных диаметров при горении дуги в среде аргона критический ток имеет значения, приведенные в таблице 14.2.

Таблица 14.2

*Критический ток для электродной проволоки Св-12Х18Н9Т при горении дуги в среде аргона*

Диаметр электрода, мм	1	2	3
Критический ток, А	190	280	350

При сварке сталей в качестве защитного газа в основном используют аргон с добавками углекислого газа или кислорода (1–5 % по объему). Введение активных газов стабилизирует горение дуги, снижает раз-

брызгивание. Наряду с этим окислительная среда повышает стойкость швов против водородной пористости.

При импульсном питании дуги сварочным током появляется дополнительная возможность управления процессом плавления и переноса электродного металла. В этом случае используют тот же принцип питания дуги, что и при сварке вольфрамовым электродом при импульсно-дуговой сварке. От источника небольшой мощности питается дуга, формирующая каплю жидкого металла на электроде, которая сбрасывается в момент подачи импульса тока большого значения. За счет возникающих электродинамических сил капле придается строгая направленность перемещения в сварочную ванну, чем предотвращается разбрызгивание и обеспечивается возможность сварки швов в различных пространственных положениях.

При аргонодуговой сварке плавящимся электродом предъявляются более жесткие требования к качеству сборки деталей, чем при сварке вольфрамовым электродом. Перед сваркой необходима тщательная очистка кромок свариваемых деталей и электродной проволоки.

**Сварка плавящимся электродом в углекислом газе.** Этим способом можно сваривать большинство сталей, удовлетворительно сваривающихся другими видами сварки. В первую очередь сваривают углеродистые и низколегированные стали толщиной более 3 мм проволокой диаметром 0,8–2 мм. Некоторое применение этот способ находит при сварке конструкций из высоколегированных сталей.

Наряду с другими преимуществами, характерными для сварки в защитных газах, сварка в углекислом газе характеризуется высокой производительностью и низкой стоимостью. Процесс экономичен, защитный газ не дефицитен, обеспечивает достаточно высокое качество металла швов. Механизированная сварка в углекислом газе, как более производительный процесс, успешно конкурирует с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами по своей универсальности. К недостаткам ее следует отнести повышенное разбрызгивание и более грубое формирование швов.

При сварке в углекислом газе происходит окисление металла и потеря легирующих элементов. Поэтому основной особенностью этого способа является необходимость применения электродных проволок с повышенным содержанием элементов-раскислителей (кремния, марганца), компенсирующих их выгорание в зоне сварки, предотвращающих окисление металла в ванне и образование пор. Для углеродистых сталей в основном используют сварочные проволоки сплошного сечения СВ-10ГС, СВ-08Г2С, а также порошковые проволоки, содержащие в наполнителе порошки ферросплавов кремния и марганца.

Автоматическая и механизированная сварка в углекислом газе ведется на постоянном токе обратной полярности. Устойчивый процесс обеспечивается при высоких плотностях тока, поэтому используют проволоки малых диаметров 0,8–2,5 мм, а питание дуги производят от источников с жесткой внешней характеристикой. При сварке в углекислом газе, даже на высоких плотностях сварочного тока, практически не удается добиться струйного переноса металла электрода. Сварочный ток устанавливают и определяют скоростью подачи проволоки. Напряжение дуги должно быть не больше 32–34 В, так как с увеличением напряжения и длины дуги увеличивается разбрызгивание и окисление. Обычно  $U_{д}=20...30$  В – скорость сварки от 20 до 80 м/ч, расход газа 6–25 л/мин. Например, при механизированной сварке низкоуглеродистой стали толщиной 8 мм сварку можно выполнять проволокой диаметром 2 мм, на силе тока 260–280 А, при напряжении 28–30 В, расходе газа 16–20 л/мин за один проход без разделки кромок. Наряду с  $CO_2$  также используют защитные смеси газов  $CO_2+Ar$ ,  $CO_2+O_2$  и др. При этом улучшается капельный перенос, уменьшается разбрызгивание, улучшается формирование швов.

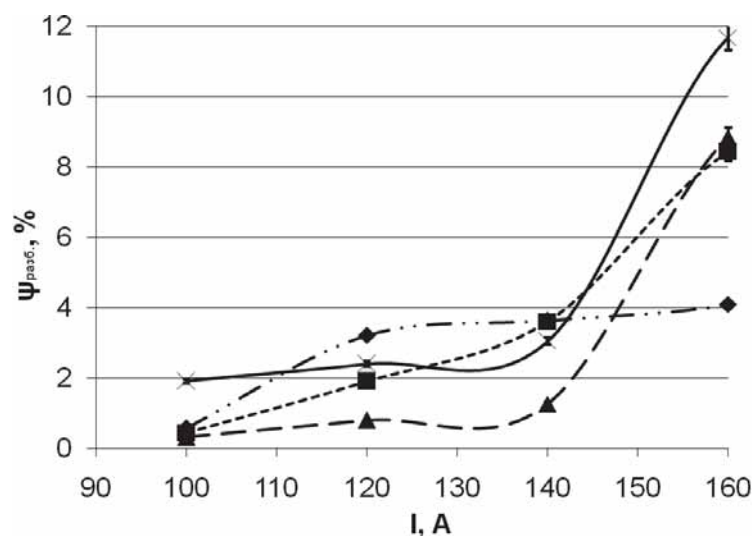
#### **14.7. СВАРКА С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ В СМЕСИ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ**

Одним из способов осуществления управляемого переноса электродного металла является использование устройства с импульсной подачей сварочной проволоки.

В основу процесса дуговой сварки с импульсной подачей сварочной проволоки положено использование дополнительной силы (силы инерции, действующей в период торможения электрода), которая, прикладываясь к капле, резко изменяет характер плавления и переноса электродного металла аналогично импульсу электродинамической силы при импульсно-дуговом процессе.

Одним из путей повышения эффективности применения сварки с импульсной подачей сварочной проволоки является использование смеси ( $Ar+CO_2$ ). Это позволит обеспечить лучшее формирование шва и меньшую величину разбрызгивания электродного металла, чем при сварке в чистом углекислом газе.

Наименьшая величина разбрызгивания ( $\psi_{разб.}$ ) достигается при содержании  $Ar$  ( $70\% \pm 3\%$ ) +  $CO_2$  ( $30\% \pm 3\%$ ). При величине тока в пределах от 100А до 140А осуществляется управляемый перенос. С увеличением сварочного тока свыше 140 А для указанного механизма перенос неуправляемый.



◆ · 50%Ar+50%CO2    ■ · 60%Ar+40%CO2    ▲ · 70%Ar+30%CO2    × · 80%Ar+20%CO2

Рис. 14.6. График зависимости величины разбрызгивания ( $\psi_{разб.}$ ) от величины сварочного тока

Процесс сварки с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов протекает в четыре этапа.

1. Этап формирования капли (рис. 14.7): происходит формирование капли за счет плавления электродной проволоки.

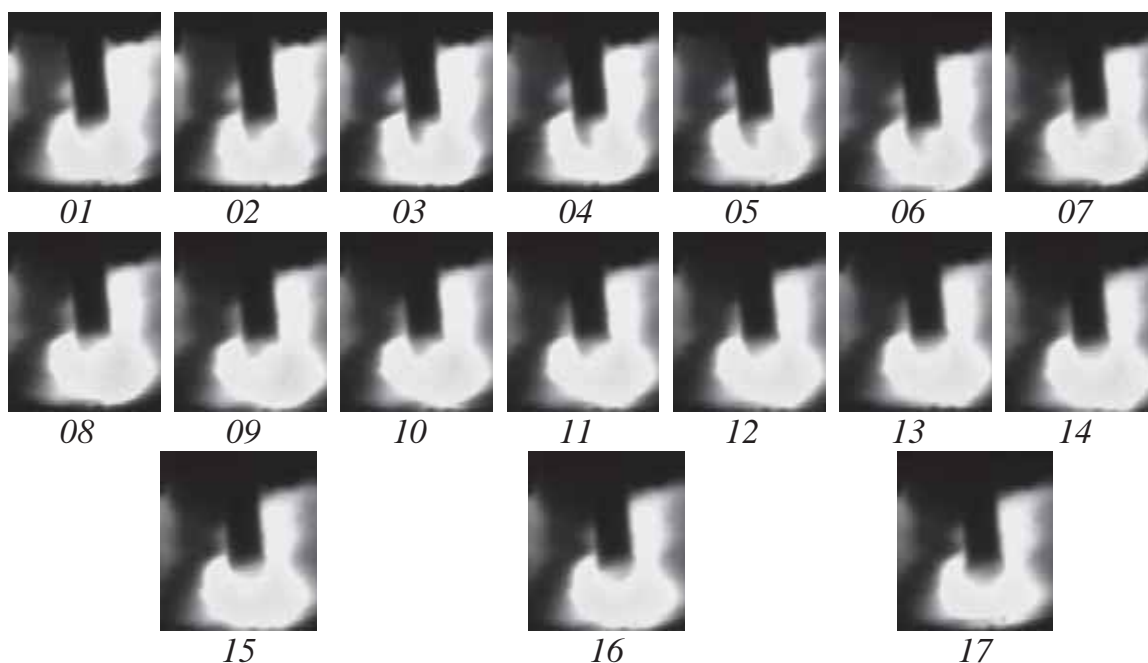


Рис. 14.7. Этап формирования капли

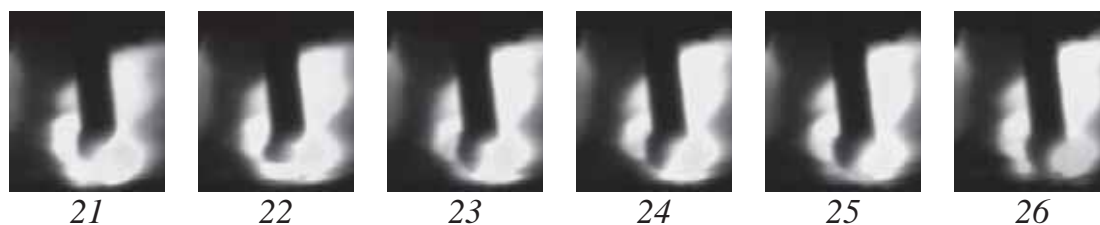
2. Этап движения электродной проволоки (рис. 14.8): под действием упругих сил, благодаря использованию механизма импульсной пода-

чи, происходит перемещение электродной проволоки с находящейся на ее торце жидкой каплей в направлении металлической ванны.



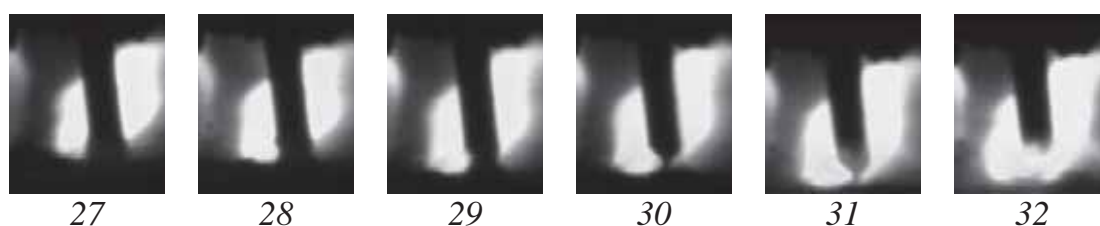
*Рис. 14.8. Этап движения электродной проволоки*

3. Этап торможения капли: происходит торможение подачи сварочной проволоки в результате достижения штоком конца угла опускания. При этом, в силу определенной инерционности жидкого металла, капля, находящаяся на торце электрода, продолжает движение (рис. 14.9).



*Рис. 14.9. Этап торможения капли*

4. Этап короткого замыкания: происходит соприкосновение жидкой капли, находящейся на торце электрода и металлической ванны, образование перемычки и переход металла капли в сварочную ванну (рис. 14.10).



*Рис.14.10. Этап короткого замыкания, утончения и разрыва перемычки*

Синхронизированный график скорости подачи электродной проволоки представлен на рисунке 14.11.

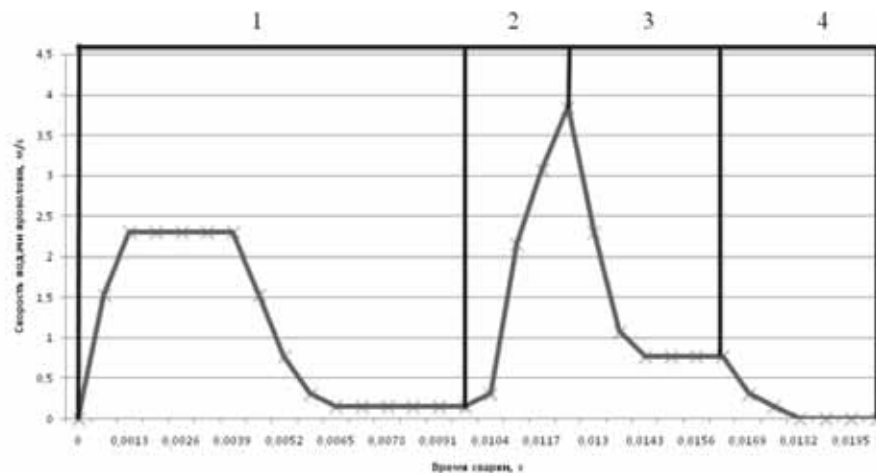


Рис. 14.11. График скорости подачи электродной проволоки:  
 1 – этап формирования капли; 2 – этап движения электродной проволоки;  
 3 – этап торможения капли; 4 – этап короткого замыкания

Во время первых трех этапов дуговой промежуток большую часть времени горит при токе меньше действующего значения.

И только во время короткого замыкания ток повышается до максимального значения.

Так как время короткого замыкания и перехода капли электродного металла в сварочную ванну меньше других этапов каплепереноса, то соответственно и время действия максимального тока значительно меньше.

В связи с этим при рассмотрении процессов сварки с постоянной и импульсной подачей, даже при одинаковой производительности процесса, тепловложения в основной металл будет различным (рис. 14.12, а, б).

Для достижения одинаковых значений геометрических размеров шва необходимо уменьшить значение энергетических параметров для сварки с импульсной подачей электродной проволоки в  $CO_2$  на 20–30 % по сравнению с постоянной подачей в  $CO_2$ . В свою очередь, для сварки в смеси газов значение величины тока и напряжения необходимо уменьшить на 10–15 %.

Газовая среда, в свою очередь, влияет на значение эффективного КПД нагрева изделия сварочной дуги:

- для дуговой сварки и наплавки в углекислом газе, 0,72–0,92;
- для дуговой сварки и наплавки в аргоне, 0,7–0,8.

Изменение эффективного КПД нагрева изделия сварочной дуги влечет за собой изменение эффективной тепловой мощности сварочной дуги (рис. 14.12, б, в).



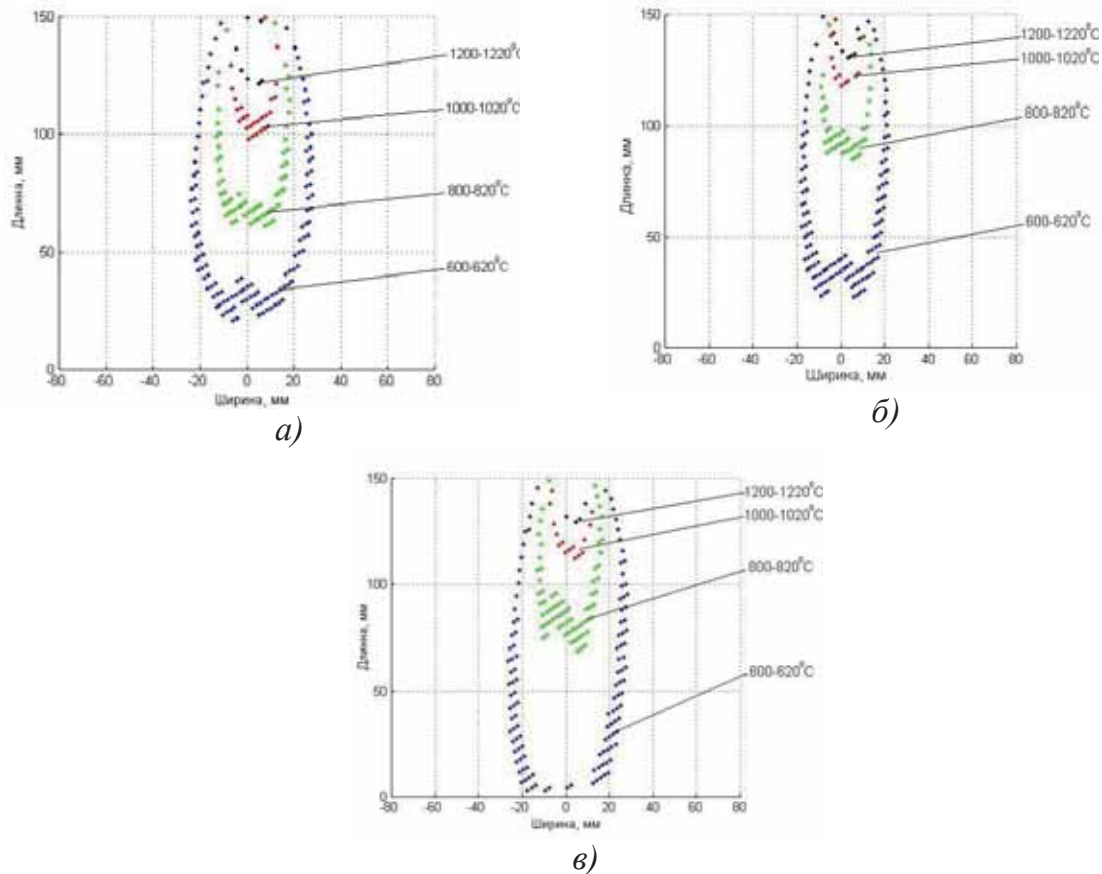


Рис. 14.12. Температурные поля: а) сварка с постоянной подачей сварочной проволоки в среде защитных газов  $CO_2$ ; б) сварка с импульсной подачей сварочной проволоки в среде защитных газов  $CO_2$ ; в) сварка с импульсной подачей сварочной проволоки в среде защитных газов  $70 \%Ar+30 \%CO_2$

Также при сварке с импульсной подачей электродной проволоки с использованием инертных газов имеют место процессы окисления, азотирования, наводороживания, а также растворения газов и вредных примесей в сварочной ванне. Это связано с несовершенством газовой защитной зоны сварки и проникновением в нее атмосферного воздуха. Кроме того, неизбежное присутствие даже небольших концентраций вредных примесей в инертных газах, наличие окисленных поверхностных слоев на кромках металла и сварочной проволоки способствуют образованию оксидов, нитридов и других веществ, заметно ухудшающих физико-механические свойства сварных соединений. В свою очередь, кремний, растворяясь в феррите, повышает предел текучести и уменьшает склонность к хладноломкости. Марганец же образует твердый раствор с железом и немного повышает твердость и прочность.

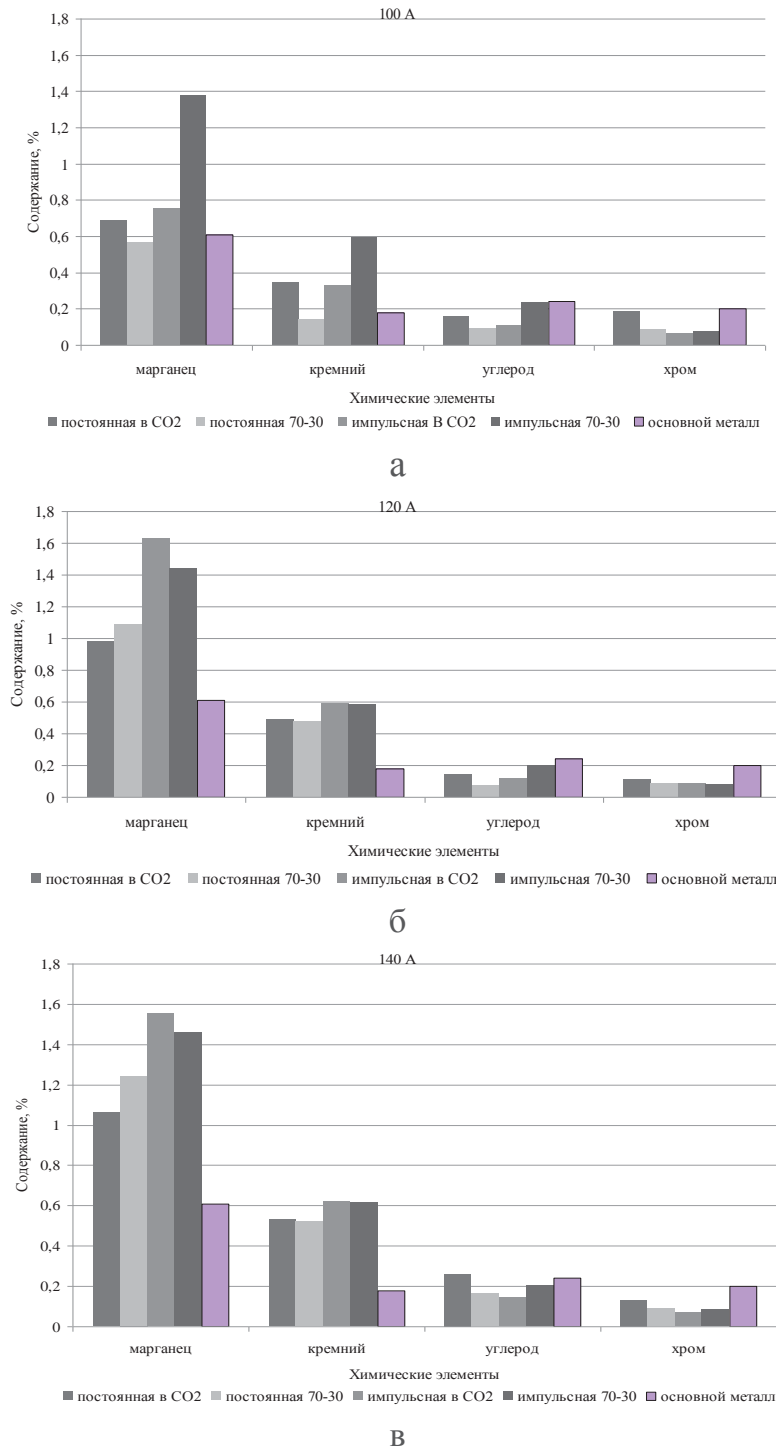


Рисунок 14.13. Содержание химических элементов в сварном шве:  
 а)  $I=100$  А; б)  $I=120$  А; в)  $I=140$  А

Как видно из гистограмм (рис. 14.13 а, б, в), содержание легирующих элементов (марганца и кремния) с повышением величины тока превышает содержание относительно основного металла на 40–60 % для всех способов сварки.

Это объясняется тем, что при сварке, элементы Mn и Si, участвующие в раскислении, при их достаточной концентрации в электродном металле также частично усваиваются, переходя в сварной шов. Однако стоит отметить, что только при использовании сварки с ИПЭП в смеси газов химический состав сварного шва одинаков на всем диапазоне токов.

Также при сварке с ИПЭП происходит меньшее выгорание Mn и Si относительно сварки с постоянной подачей на 10–20 %, что приводит к повышению механических свойств из-за меньшего тепловложения в каплю электродного металла. Это объясняется тем, что эффективная тепловая мощность сварочной дуги различна как из-за режимов сварки (силы тока и напряжения), так и из-за значения эффективного нагрева изделий.

При использовании сварки с ИПЭП в смеси газов позволяет предотвратить выгорание углерода, что позволяет сделать вывод о том, что металл шва и основной металл схожи по твердости и пластичности (равнопрочное сварное соединение).

Содержание хрома, в свою очередь, для всех способов сварки относительно основного металла снижается на 30–40 %.

## ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности и способы защиты металла с использованием защитных газов?
2. Расскажите о подготовке деталей и выборе технологических параметров режима, определяющих условия сварки в защитных газах.
3. Охарактеризуйте особенности технологии сварки вольфрамовым электродом в защитных газах.
4. Какие существуют разновидности сварки вольфрамовым электродом в защитном газе? Их особенности.
5. Расскажите об особенностях процесса и технологии сварки плавящимся электродом в среде аргона.
6. Расскажите об особенностях процесса и технологии сварки плавящимся электродом в углекислом газе.
7. Какую полярность лучше использовать при аргонодуговой сварке на постоянном токе плавящимся электродом для тонких деталей?

## **ГЛАВА 15. ТЕХНОЛОГИЯ ДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ**

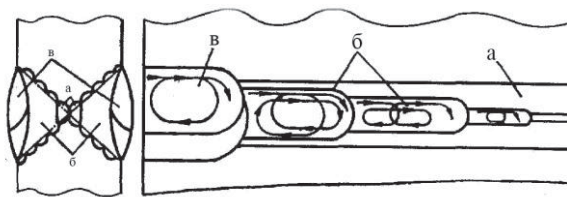
### **15.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**

При механизированной сварке подача электродной проволоки в зону горения дуги осуществляется механизированным способом, а перемещение дуги вдоль свариваемых кромок производится вручную.

Механизированная сварка плавящимся электродом может выполняться под слоем флюса, в защитных газах и самозащитной порошковой проволокой. В настоящее время использование механизированной сварки под флюсом весьма ограничено. Общие требования и технология выполнения в общем аналогичны, как и в случае автоматической дуговой сварки под слоем флюса. Более широкое применение нашли два последних варианта. Механизированной сваркой в защитных газах сваривают соединения, имеющие стыковые и угловые швы. Сварка выполняется шланговыми полуавтоматами с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. Применяемые источники питания дуги имеют жесткую вольт-амперную характеристику.

Стыковые швы могут выполняться вертикальным электродом при движении горелки на себя, слева направо и справа налево. Изделие толщиной до 6–8 мм можно сваривать односторонним швом без разделки кромок, при больших толщинах – двусторонним швом с разделкой кромок и многослойном варианте. При выполнении стыковых соединений однослойными швами, а также при наложении первого слоя многослойного шва горелку перемещают обратно-поступательно по оси шва без поперечных колебаний электрода (рис. 15.1). При наложении последующих сварных слоев горелку перемещают по вытянутой спирали. Последние сварные слои выполняют при зигзагообразном движении горелки «змейкой» или же по вытянутой спирали, но с большей амплитудой колебания.

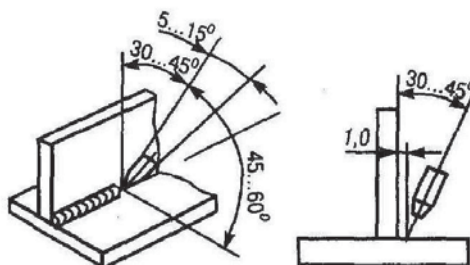
Во время сварки горелка не должна задерживаться на одном месте, так как в противном случае значительно увеличивается размер сварочной ванны, что вызывает перегрев металла. После заварки кратера и выключения сварочного тока для защиты металла ванны от окисления необходимо в течение 3–5 с подержать горелку над кратером, не прекращая поступления защитного газа до полного затвердевания жидкого металла. Заканчивать процесс сварки растягиванием дуги и отводом горелки не рекомендуется.



*Рис. 15.1. Перемещение горелки при механизированной сварке многослойных стыковых швов в углекислом газе: а – первый слой; б – заполняющий слой; в – замыкающий слой*

Для выполнения стыковых соединений сварку можно вести также с наклоном электрода как углом вперед, так и назад. В первом случае при наклоне электрода до  $10\text{--}30^\circ$  глубина проплавления несколько меньше, шов шире, удобнее направлять дугу при разделке шва, можно добиться существенного уменьшения разбрызгивания, сварку можно выполнять с большими скоростями, чем вертикальным электродом. При сварке углом назад рекомендуется наклонять горелку на  $5\text{--}15^\circ$ . В этом случае можно несколько увеличить глубину провара, но ширина шва уменьшается. Для расширения шва сварку выполняют поперечными к оси шва колебаниями электрода.

Угловые швы могут выполняться как наклонным (рис. 15.2), так и вертикальным электродом «в лодочку». При сварке наклонным электродом горелка наклоняется поперек шва под углом  $30\text{--}45^\circ$  к вертикали, а вдоль шва – на  $5\text{--}15^\circ$ .



*Рис. 15.2. Положение горелки при механизированной сварке угловых швов*

Торец электрода направляют в угол соединения или смещают от него на расстояние до 1 мм от горизонтальной детали. В процессе сварки горелку перемещают возвратно-поступательно по оси шва без поперечных колебаний. Желательно вести сварку на спуск с наклоном изделия на  $6\text{--}10^\circ$ . Это улучшает формирование шва, позволяет повышать скорость сварки и уменьшать разбрызгивание металла. Основной трудностью при выполнении угловых швов наклонным электродом является растекание жидкого металла по горизонтальной плоскости, что может привести к подрезам и непроварам. Во избежание этого за один проход

обычно формируют угловые швы катетом не более 8 мм. При выполнении угловых швов «в лодочку» особых трудностей не возникает.

Основные типы, конструктивные элементы и размеры швов сварных соединений при механизированной сварке в защитных газах те же, что и при автоматической.

Механизированная сварка в защитных газах может производиться во всех пространственных положениях шва, из которых наиболее удобным является нижнее. Колебательные движения поперек оси шва сообщают электроду в зависимости от требуемой ширины шва, толщины свариваемого металла и формы подготовленных кромок.

Вертикальные стыковые и угловые швы могут выполняться снизу вверх и сверху вниз. Сварку сверху вниз применяют при соединении тонколистовых деталей, а также при наложении первого слоя многослойного шва. В начале процесса сварки, чтобы обеспечить хороший провар начала шва, электрод располагают перпендикулярно основному металлу. После образования сварочной ванны его наклоняют на 10–15° ниже горизонтали и направляют на переднюю часть ванны, предупреждая ее стекание, увеличивая проплавление корня шва и исключая несплавления и натеки по краям шва. При толщине металла более 6 мм сварку производят снизу вверх как углом вперед, так и назад. Вторым способом применяют в случае сварки металла большей толщины. Для улучшения формирования шва электроду сообщают колебательные движения. При сварке снизу вверх получается глубокий провар корня шва и отсутствуют несплавления по его краям.

В горизонтальном положении при толщине деталей до 3 мм сварку ведут без скоса кромок, с небольшим зазором при сборке, что обеспечивает полный провар швов и небольшую выпуклость шва. Сварку ведут с наклоном электрода снизу вверх и углом назад без поперечных колебаний электрода. При толщине металла более 3 мм делают скос на кромке верхнего листа, электрод также направляют снизу вверх, что предупреждает стекание металла на нижнюю кромку.

В потолочном положении сварку выполняют углом назад при минимальных напряжениях и силе тока. Дугу и поток защитного газа направляют на ванну жидкого металла, что уменьшает ее стекание. Для этой цели рекомендуется увеличивать расход защитного газа. Стыковые швы в потолочном положении выполняют с разделкой кромок и с поперечными колебаниями электрода.

Технология выполнения поворотных кольцевых стыковых швов во многом подобна технологии выполнения продольных швов. Электрод при этом располагается сверху с небольшим смещением от верхней точки окружности в сторону, противоположную направлению вращения изделия.

Сварку толщиной до 2,5 мм, а также наложение первого слоя на металл большой толщины рекомендуется вести в вертикальном положении сверху вниз или в полупотолочном положении (рис. 14.3). Дугу и поток защитного газа следует направлять на ванну жидкого металла. Это обеспечивает получение полного проплавления соединения с обратным формированием шва без прожогов, даже при значительных переменных зазорах.

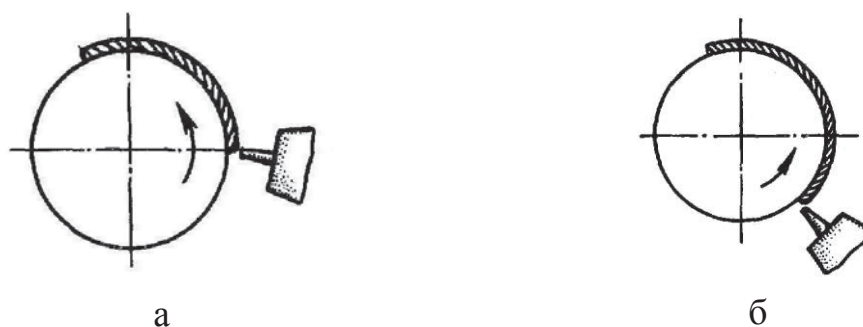


Рис. 15.3. Расположение горелки при выполнении кольцевых швов:  
а – сверху вниз; б – полупотолочное

Подготовка кромок и сборка под механизированную сварку, а также выбор электродной проволоки производятся в основном так же, как и при автоматической сварке в защитных газах. Во всех случаях, где это возможно, рекомендуется собирать и сваривать соединения в приспособлениях без прихваток. При сборке на прихватках последние следует устанавливать с обратной стороны соединения. Прихватку можно выполнять сваркой неплавящимся электродом, тонкой проволокой в защитном газе и др. Во избежание протекания жидкого металла в зазоры, стыковые соединения тонких деталей должны выполняться сваркой на медных или керамических подкладках.

**Механизированная сварка в углекислом газе** является наиболее распространенным способом механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах. В настоящее время этот способ, как более производительный, успешно конкурирует с ручной дуговой сваркой покрытыми электродами и по своей маневренности. Технологические условия и режимы механизированной сварки в углекислом газе примерно те же, что и при автоматической сварке. Во избежание появления прожогов механизированную сварку выполняют с меньшей силой тока, чем автоматическую, и, как следствие, с меньшей скоростью.

## 15.2. МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СВАРКА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Для устранения недостатков, присущих сварке покрытыми электродами, в последние годы получила развитие механизированная сварка

порошковой проволокой. Механизированная сварка порошковой проволокой позволяет выполнять стыковые, угловые, тавровые и нахлесточные соединения как с разделкой, так и без разделки кромок. Подготовка и сборка деталей под сварку производится так же, как и при сварке в защитных газах.

К режимам сварки порошковой проволокой относятся те же параметры, что и при сварке в углекислом газе. Диаметр порошковой проволоки и силу тока устанавливают в зависимости от толщины свариваемого металла, необходимого количества слоев шва и положения в пространстве. Скорость подачи проволоки зависит от силы тока, напряжения дуги, диаметра и марки порошковой проволоки. Вылет электрода находится в прямой зависимости от диаметра применяемой проволоки.

Технология механизированной сварки порошковой проволокой аналогична технологии механизированной сварки в углекислом газе сплошной электродной проволокой. Однако сварка порошковой проволокой различных марок требует определенного навыка. Сварка производится короткой дугой, так как при увеличении ее длины усиливается разбрызгивание жидкого металла, ухудшается его защита от воздуха, возрастает выгорание элементов, содержащихся в проволоке, что приводит к образованию пор в наплавленном металле. При слишком короткой дуге значительно падает ее напряжение, что ухудшает стабильность горения дуги и может привести к плохому формированию шва, а также появлению в нем шлаковых включений.

Особое внимание следует обращать на рекомендуемый вылет электрода. При уменьшении его мундштук горелки сильно забрызгивается, возможны приварка к нему проволоки и образование дефектов в шве. При увеличении вылета проволоки она перегревается, что приводит к преждевременному выгоранию ее газообразующих составляющих и образованию пористости шва. Колебательные движения электрода зависят от толщины свариваемого металла. Основные варианты таких движений показаны на рисунке 15.4.

Сварку, как правило, выполняют вертикальным электродом, однако допускается наклон его вперед или назад до  $15\text{--}20^\circ$ . При наложении угловых швов электрод располагают под углом  $30\text{--}40^\circ$  к вертикали. Сварка в вертикальном положении обычно производится снизу вверх, а при толщине металла менее 4 мм – сверху вниз, что предотвращает возможные прожоги. При выполнении многослойных швов перед наложением каждого последующего слоя тщательно удаляется шлак с предыдущего.





Рис. 15.4. Колебательные движения электрода при сварке порошковой проволокой: а – по спирали; б – змейкой

Режимы механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой приведены в таблице 15.1.

Таблица 15.1

Режимы механизированной сварки порошковой проволокой типа ПП-АН1, ПП-АН3 (диаметр 3мм)

Толщина свариваемых деталей, мм	Тип наполнителя	Параметры режима			
		сварочный ток, А	напряжение дуги, В	скорость подачи, мм/с	вылет электрода, мм
3–6	ПП-АН1, рутиловый	200–240	24–25	28	15–20
8–12		250–300	25–27	33	15–20
14–20		300–350	26–28	47	20–25
5–10	ПП-АН3	360–380	25–28	39	15–20
10–15		420–450	26–29	47	20–25
15–20		460–490	26–29	58	25–30

Для улучшения защиты ванны и упрощения состава наполнителя проволоки получил применение комбинированный процесс сварки порошковой проволокой с дополнительной защитой ванны углекислым газом.

### 15.3. МЕХАНИЗИРОВАННАЯ СВАРКА ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ САМОЗАЩИТНОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Сварка самозащитной проволокой сплошного сечения без дополнительной защиты разработана для применения в монтажных, а также заводских условиях в тех случаях, когда неприемлема сварка в углекислом газе. Особенность этого способа заключается в том, что металл расплавляется теплом дуги, горящей между голой электродной проволокой и изделием с последующей его кристаллизацией и образованием шва. При этом внутренняя защита, как у порошковых проволок, и дополнительная защита флюсом или газом отсутствуют. При такой техно-

логии сварки швы имеют высокие механические свойства, если в составе электродной проволоки есть в достаточном количестве элементы-раскислители и др., связывающие кислород и азот в стойкие химические соединения, не снижающие пластичности металла шва.

Механизованная сварка такой проволокой вполне заменяет ручную сварку покрытыми электродами на открытых площадках при монтажных работах.

При сварке открытой дугой обычной проволокой происходит выгорание легирующих элементов и насыщение металла шва газами (кислородом, азотом и водородом). При сварке самозащитной проволокой потери элементов компенсируются за счет повышенного содержания в электродной проволоке элементов, обладающих большим сродством с кислородом, чем выгораемые. К таким элементам относятся алюминий, титан, церий, цирконий, лантан и др.

Они связывают кислород и азот в стойкие включения, мало влияющие на пластичность и вязкость металла.

Для механизированной сварки открытой дугой применяют специальные легированные проволоки (ГОСТ 2246-70). Так, самозащитная сварочная проволока Св-20ГСТЮА с добавкой церия позволяет сваривать углеродистую сталь толщиной от 2 мм и более в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях. Проволока Св-16ГСТЮЦА с добавкой церия и циркония служит для сварки углеродистых и марганцовистых сталей во всех пространственных положениях. Самозащитной проволокой можно сваривать металл, покрытый окалиной, небольшим налетом ржавчины и т.д. Металл шва, наплавленный этими проволоками, по механическим свойствам равноценен металлу шва, получаемому при сварке покрытыми электродами типа Э46 или Э50.

При сварке открытой дугой самозащитной проволокой изделие меньше деформируется, чем при других способах сварки, что особенно важно при изготовлении тонколистовых конструкций. Сварку можно производить как при положительных, так и при отрицательных температурах. Производительность процесса примерно такая же, как и при сварке в углекислом газе, однако формирование швов более грубое. Подготовка кромок и сборка деталей под сварку производятся так же, как и при сварке в углекислом газе. Сварку выполняют постоянным током как на прямой, так и на обратной полярности. Режимы сварки самозащитной проволокой приведены в таблице 15.2.

Таблица 15.2

*Режимы стыковых соединений электродной проволокой Св-15ГСТЮЦ*

Диаметр проволоки, мм	Параметры режима	
	сварочный ток, А	напряжение дуги, В
1	120–150	21–23
1,6	180–220	23–25
2	280–320	23–25

**ВОПРОСЫ**

1. Опишите технологию выполнения механизированной сварки в углекислом газе.
2. Изложите особенности и технологию механизированной сварки порошковой проволокой. Ее достоинства.
3. Каковы сущность и технология процесса механизированной сварки самозащитной проволокой сплошного сечения?
4. Чем отличается электродная проволока при автоматической и механизированной сварке в углекислом газе?
5. Можно ли вести процесс сварки порошковой и самозащитной проволокой на автоматах для сварки в углекислом газе?

## ЧАСТЬ 3

### ГЛАВА 16. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ СТАЛЕЙ И ЧУГУНА

#### 16.1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ

В современных машиностроительных конструкциях, изготавливаемых в помощь сварки, используются разнообразные материалы, отличающиеся по своим механическим и физическим свойствам, технологическим характеристикам. Выбор материала определяется соответствием его свойств требованиям, обусловленным назначением и условиями работы конструкции. Общепринятыми характеристиками материала являются предел прочности  $\sigma_B$ , предел текучести  $\sigma_T$ , относительное удлинение  $\delta$ , относительное поперечное сужение  $\psi$ , ударная вязкость  $a$ . Однако непосредственное использование их для оценки поведения материала в конструкции в большинстве случаев является недостаточным. Например, приведенные характеристики не позволяют судить о поведении материала при вибрационных нагрузках, тем более ничего нельзя сказать о сопротивлении металла статическим нагрузкам при низких или при высоких температурах. Поэтому необходимы дополнительные данные о сопротивлении металла усталости, ударным воздействиям, хрупким разрушениям, особенно при низких температурах, о чувствительности к надрезу и концентраторам напряжений и др.

С целью снижения металлоемкости и уменьшения массы конструкций необходимо учитывать не только абсолютные показатели прочностных свойств, но и отношение их к плотности металла – так называемые удельные прочностные показатели материала. Исходя из этого конструкции из стали с  $\sigma_B=1570$  МПа могут выдерживать меньшую нагрузку, чем аналогичные и одинаковые по массе, но выполненные из титанового сплава с  $\sigma_B=1000$  МПа или алюминиевого сплава  $\sigma_B=600$  МПа.

Важная характеристика свойств конструкционных материалов – отношение предела текучести к пределу прочности при растяжении. Для различных материалов, используемых в сварных конструкциях, это отношение находится в пределах 0,5–0,9. Для большинства сталей это отношение 0,75–0,8, для аустенитно-мартенситной стали при комнатной температуре – 0,9, при 500 °С – 0,8.

В зависимости от температуры материал может находиться в вязком или хрупком состоянии, что резко влияет на его поведение под нагрузкой. В вязком состоянии его разрушение происходит после значительных пластических деформаций. В хрупком состоянии способность

пластически деформироваться сильно снижена. Во время эксплуатации такого материала может произойти мгновенное разрушение при случайных перегрузках из-за малой его энергоемкости. Хрупкость не является постоянным свойством материала, и переход из пластического состояния в хрупкое зависит от многих факторов – химического состава и структуры, температуры, скорости нагружения, вида напряженного состояния.

Оценкой хрупкости материала служит ударная вязкость. Этот показатель является одной из существенных характеристик сопротивляемости металла разрушению.

Во многих случаях главным при выборе металлов является их способность работать при повышенной температуре в агрессивных средах. Также необходимо учитывать их поведение при сварке. В сварных конструкциях основной металл в процессе сварки подвергается термическим, механическим и химическим воздействиям. Это приводит к изменениям его химического состава, структуры, механических свойств, напряженного состояния. Поэтому при выборе металла для сварных конструкций необходимо считаться не только с его исходными свойствами, но и с теми, которые он приобретает под воздействием сварочного процесса. Это характеризуется свариваемостью материала. Таким образом, технологическая свариваемость является важнейшей комплексной характеристикой материала.

Для сварных изделий в машиностроении в качестве конструкционных материалов широко используют конструкционные стали, легкие сплавы на основе алюминия и магния, титановые сплавы, медь и ее сплавы и др.

Сталями называют сплавы железа с углеродом, содержащие менее 2 % С. По химическому составу различают стали углеродистые и легированные. Содержание углерода в конструкционных углеродистых сталях составляет 0,06–0,9 %. Углерод является основным легирующим элементом сталей этой группы и определяет механические свойства и их свариваемость. В зависимости от содержания углерода конструкционные углеродистые стали могут быть низкоуглеродистые ( $C \leq 0,25$  %), среднеуглеродистые ( $C = 0,26–0,45$  %), высокоуглеродистые ( $C = 0,46–0,76$  %). По качественному признаку различают углеродистые стали обыкновенного качества и качественные. Качественные стали имеют пониженное содержание вредных примесей (серы, фосфора). Примером низкоуглеродистой стали обыкновенного качества, широко используемой в сварных конструкциях, является сталь ВСт3, содержащая 0,14–0,22 % С, 0,40–0,65 % Мп, 0,12–0,30 % Si, с пределом прочности  $\sigma_B = 380–490$  МПа и относительным удлинением  $\delta = 23–26$  %. В качестве примера углеродистой качествен-

ной стали можно назвать сталь 20, содержащую 0,17–0,24 % С, 0,35–0,65 % Мп, 0,17–0,37 % Si, с пределом прочности  $\sigma_B=420$  МПа и относительным удлинением  $\delta=26$  %.

Легированными называют стали, содержащие специально введенные элементы для придания стали определенных свойств и структуры. В зависимости от содержания легирующих элементов легированные конструкционные стали разделяют на следующие группы:

- низколегированные, в которых содержание одного легирующего элемента не превышает 2 %, а суммарное содержание легирующих элементов менее 2,5–4 %;
- среднелегированные, в которых содержание одного легирующего элемента составляет 2–5 % при суммарном содержании 2,5–10 %;
- высоколегированные, в которых содержание легирующих элементов составляет более 10 %.

По назначению различают легированные стали:

- конструкционные повышенной прочности;
- жаропрочные;
- жаростойкие;
- коррозионно-стойкие.

В зависимости от вводимых в сталь легирующих элементов различают стали:

- марганцовистые;
- кремний-марганцовистые;
- хромистые;
- хромоникелевые и т.п.

По содержанию углерода легированные стали, как и углеродистые, могут быть низко-, средне- и высокоуглеродистыми.

В зависимости от структуры различают стали:

- перлитного;
- ферритного;
- аустенитного;
- мартенситного;
- промежуточных классов.

Класс стали определяют структурой в ней, образующейся после операции термической обработки – нагрева до температуры точки  $A_{C3}$  и последующего охлаждения на воздухе.

## 16.2. СВАРКА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Стали этих групп относятся к хорошо сваривающимся практически всеми видами сварки. Основные требования при их сварке – обеспечение равнопрочности сварного соединения основному металлу, отсутствие дефектов, требуемая форма сварного шва, производительность и экономичность. При сварке плавлением эти требования обеспечиваются выбором и применением типовых сварочных материалов, режимов и технологии выполнения сварки.

Для изготовления сварных конструкций из этой группы в первую очередь применяют низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,25 %. Низкоуглеродистые стали обыкновенного качества в зависимости от назначения подразделяют на три группы: *А*, *Б*, *В*. Для ответственных сварных конструкций в основном используют стали группы *В* с гарантируемыми химическим составом и механическими свойствами. Выпускаются низкоуглеродистые качественные стали с нормальным (10, 15, 20 и др.) и повышенным (15Г, 20Г) содержанием марганца.

Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются всеми способами дуговой сварки. Однако они обладают невысокими механическими характеристиками и их применение связано с увеличением металлоемкости и массы конструкций. Уменьшить удельный расход стали можно, повышая прочностные характеристики. С этой целью в сталь вводят легирующие элементы, которые, образуя твердые растворы и химические соединения, повышают ее свойства. Это позволяет снизить массу изготавливаемых конструкций. Сейчас все шире применяют низкоуглеродистые и низколегированные стали с содержанием легирующих элементов до 2,5 %. Основными легирующими элементами являются марганец, кремний, хром и никель. Для повышения коррозионной стойкости стали вводят медь (0,3–0,4 %). Такие стали обладают хорошей свариваемостью. Предусмотрен выпуск 28 марок низколегированных сталей, применяемых для сварных конструкций.

К группе низколегированных сталей относятся теплоустойчивые стали перлитного класса, используемые в энергетическом машиностроении (12МХ, 12Х1МФ, 20ХМФЛ и др.), в которых содержание легирующих компонентов допускается до 4 %. Для повышения жаропрочности при температурах 450–585 °С, их легируют молибденом и вольфрамом. Однако низколегированные стали более чувствительны к тепловому воздействию, чем низкоуглеродистые, особенно при сварке на форсированных режимах металла большой толщины. В зоне термического влияния более заметны явления перегрева, рост зерна и возможно образование закалочных структур, что будет служить причиной образо-

вания холодных трещин. Поэтому при сварке низколегированных сталей к параметрам режима сварки предъявляются более жесткие требования, чем при сварке нелегированных низкоуглеродистых сталей. Сварка ограничивается узкими пределами изменения параметров режима, чтобы одновременно обеспечить минимальное возникновение закалочных структур и уменьшить перегрев.

Ручную дуговую сварку покрытыми электродами низкоуглеродистых сталей выполняют электродами типа Э38, Э42, Э46 со всеми типами покрытий (кислыми, рутиловыми, целлюлозными и основными) марок МР-3, СМ-5, АНО-2, ОЗС-3, УОНИ-13/45 и др.

Низколегированные низкоуглеродистые стали сваривают электродами типов Э42, Э50 с основным покрытием марок УОНИ-13/45, СМ-11, УОНИ-13/55 и др.

Для сварки под флюсом в основном применяют марганцевые высококремнистые флюсы (ОСЦ-45, АН-348) и низкоуглеродистые сварочные проволоки Св-08, Св-08А, Св-08ГА (для низкоуглеродистых) и Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ХН, Св-08ХМФА и др. (для низколегированных сталей).

При сварке в защитных газах используют углекислый газ, а также смеси углекислого газа с аргоном и кислородом, в качестве сварочных проволок в этом случае применяют проволоки марок Св-08ГС, Св-08Г2С и др., для повышения коррозионной стойкости используют проволоку марки Св-08ХГ2С.

Теплоустойчивые стали чувствительны к термическому циклу при сварке, следствием которого являются появление холодных трещин, процессы старения, разупрочнения, охрупчивания и опасность трещин при эксплуатации. Основными мерами борьбы с этими процессами являются применение основного металла с минимальным содержанием примесей и пониженным содержанием углерода, сварка с предварительным подогревом для сталей 12ХМ, 15ХМ (200–250 °С), для сталей 20ХМФ, 15Х1М1Ф (350–450 °С), выбор оптимального режима сварки, термообработка после сварки. Сварку производят покрытыми электродами с фтористо-кальциевым покрытием типа Э-МХ, Э-ХМФ на постоянном токе обратной полярности. Применяют также сварку в углекислом газе и под флюсом с использованием сварочных проволок, легированных элементами, входящими в состав свариваемых сталей.



### 16.3. СВАРКА ЛЕГИРОВАННЫХ И ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЕЙ

К этой группе относятся стали с суммарным содержанием легирующих элементов до 10 %. Они обладают высокими прочностными и пластическими характеристиками, повышенной стойкостью против хрупкого разрушения и некоторыми специальными свойствами. Прочность таких сталей 800–2000 МПа, поэтому их используют в ответственных конструкциях, воспринимающих значительные нагрузки, например в авиационной технике, химическом и энергетическом машиностроении и др.

Для сталей этой группы характерным является многокомпонентное комплексное легирование. Почти все стали этой группы относятся к перлитному классу. Однако некоторые из них, содержащие легирующих элементов 5–6 % и более, могут относиться к мартенситному или переходным классам (30Х2ГСНВМ, 28ХЗСНМВФА и др.). Высокие механические свойства среднелегированных сталей достигаются при соответствующем легировании и надлежащей термической обработке, после которой проявляется положительное влияние легирования. Поэтому такие конструкционные стали характеризуются как химическим составом, так и видом термической обработки. Стали этой группы, как правило, подвергают улучшению (закалке с последующим высоким отпускком) или закалке и низкому отпуску. В качестве легирующих компонентов для этих сталей применяют хром, марганец, кремний, никель, титан и др. При изготовлении ряда конструкций от материала требуется также сохранение прочностных характеристик при высоких температурах и длительном воздействии постоянных нагрузок. Для повышения жаропрочности сталей в их состав дополнительно вводятся такие легирующие элементы, как молибден, вольфрам, ванадий, энергично повышающие температуру разупрочнения стали при нагреве. В отожженном состоянии предел прочности стали 25ХНВФА, в состав которой входят вольфрам и ванадий, 850 МПа при  $\delta=1,5$  %. Закалкой при 910 °С, охлаждением в масле и последующим отпускком при 350 °С получают  $\sigma_B=1400$  МПа,  $\delta=10$  %. При высокой прочности сталь обладает достаточной пластичностью и хорошо сохраняет свои прочностные характеристики во время нагрева. При 300 °С прочность составляет 90 %, а при 500 °С – 50 % от исходной.

К этой же группе закаливающихся сталей по своему отношению к сварке относят и нелегированные средне- и высокоуглеродистые стали с содержанием углерода 0,3–0,6 % – стали 30, 35, 40, 45, 50, 60, 25Г, 35Г, 45Г. Высокоуглеродистые стали в сварных конструкциях, как правило, не используются. Необходимость их сварки возникает при наплавке и

ремонте. Для изготовления сварных узлов из легированных высокопрочных сталей используется большинство известных способов сварки плавлением. Однако этот технологический процесс более сложен по сравнению с процессом изготовления конструкций из сталей предыдущей группы. Эти материалы относятся к закаливающимся сталям, поэтому в сварных соединениях могут образовываться хрупкие и малопластичные зоны, чувствительные к возникновению трещин. Характерными общими трудностями при сварке этих сталей являются:

- образование закалочных структур при охлаждении после сварки и в связи с этим склонность к холодным трещинам;
- опасность образования горячих трещин;
- разупрочнение металла сварного соединения по сравнению с основным металлом. Это необходимо учитывать при разработке технологии и предусматривать специальные мероприятия для предохранения от подкалки и выравнивания свойств (подогрев перед сваркой, последующую термическую обработку и т.п.).

Для ответственных конструкций широко используют легированные стали перлитного класса средней прочности  $\sigma_B=900-1300$  МПа. Это стали 25ХГСА, 30ХГСА и другие с меньшим или большим содержанием углерода и сложнoleгированные стали с низким содержанием углерода, например 12Х2НВФА, 23Х2НВФА. Они отличаются лучшей свариваемостью по сравнению с высокопрочными легированными сталями типа 30ХГСН2А, 28Х3СНВФА, 30Х2ГСНВМ и другие  $\sigma_B=1500-2000$  МПа. В зависимости от степени легирования и содержания углерода стали этой группы относятся к удовлетворительно, ограниченно или плохо свариваемым сталям. Главная трудность при сварке сталей этой группы – образование закалочных структур и холодных трещин, поэтому основные металлургические и технологические меры по обеспечению качества сварных соединений основываются на устранении этой трудности и являются общими для большинства рассматриваемых сталей.

Получение надежных сварных соединений осложняется также повышенной чувствительностью к концентраторам напряжения при статических и особенно при динамических нагрузках. Такая опасность тем больше, чем выше легирование стали, особенно углеродом, поэтому разрабатывать технологические процессы нужно очень тщательно, а также повышать культуру проектирования и производства.

Необходимые меры по обеспечению получения качественных сварных соединений проводятся на разных этапах создания конструкций.

До сварки при составлении технологии главное внимание должно быть уделено рациональному выбору сварочных материалов: основного и присадочного металла, защитных средств. Основной металл с пониженным содержанием углерода и примесей (серы, фосфора) обладает более высокой стойкостью против холодных и горячих трещин.

Для повышения пластичности сварного шва и увеличения сопротивляемости трещинам содержание углерода в присадочном металле должно быть не более 0,15 %; целесообразно предусмотреть широкую разделку кромок, чтобы обеспечить формирование шва в основном за счет более пластичного присадочного металла. Высокая технологическая прочность сварного шва достигается при ограничении содержания легирующих элементов в присадочной проволоке до следующих пределов, %: 0,15 C; 0,5 Si; 1,5 Mn; 1,5 Cr; 2,5 Ni; 0,5 V; 1,0 Mg; 0,5 Nb. В качестве защитных средств необходимо использовать покрытия и флюсы основного типа, а также инертные газы (для легированных сталей). Для уменьшения сварочных напряжений, являющихся одной из причин образования трещин, необходимо при конструировании избегать жестких узлов, скоплений швов, пересекающихся и близко расположенных швов.

Во время сварки предусматриваются следующие технологические меры.

1. Тщательная подготовка и сборка под сварку, минимальное смещение кромок (менее 10–15% толщины), минимальный зазор, L качественные прихватки и зачистка кромок.

2. Регулирование термического цикла сварки для обеспечения требуемой скорости охлаждения шва и зоны термического влияния. Скорость охлаждения регулируют изменением режимов сварки (сила тока, скорость сварки, погонная энергия), применением специальных технологических приемов (сварка короткими и длинными участками, наложение отжигающего валика, сварка блоками, 1 каскадом и др.) и применением подогрева, который может быть предварительным, сопутствующим и, последующим. Подогрев является наиболее действенным способом регулирования скорости охлаждения, и его используют, когда регулированием режимов сварки и специальными технологическими приемами не удастся обеспечить требуемую скорость охлаждения и структуру сварного соединения. Чем выше содержание углерода и легирующих элементов, тем выше температура подогрева.

3. Уменьшение содержания водорода в сварном шве, так как водород является одной из главных причин образования холодных трещин. Это достигается применением покрытых электродов с фтористо-кальциевыми покрытиями и основных флюсов, защитных газов с пони-

женной влажностью; сваркой на постоянном токе обратной полярности; тщательной подготовкой под сварку свариваемого и присадочного металла (зачистка, обезвоживание) и защитных материалов (сушка, прокатка).

4. Рациональная последовательность выполнения швов с целью уменьшения остаточных напряжений и деформаций.

После сварки для предотвращения холодных трещин производят незамедлительно высокий отпуск для снятия остаточных напряжений и стабилизации структуры. Для обеспечения равнопрочности сварного соединения после сварки производят полную термообработку изделия, которая заключается в закалке и последующем высоком отпуске или в нормализации. Если габариты изделия и имеющееся оборудование допускают полную термообработку, то химический состав металла шва должен быть близок химическому составу основного металла.

Если полная термообработка невозможна, то проблема равнопрочности (обычно для сталей  $\sigma_B=700-750$  МПа) решается подбором режимов сварки и легированием через присадочную проволоку. При сварке закаливаемых сталей применяют в основном способы сварки – ручную дуговую, под флюсом, в защитных газах, электрошлаковую с использованием сварочных материалов, обеспечивающих заданную прочность и химический состав сварного шва.

#### **16.4. СВАРКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ**

Высоколегированными считают стали с суммарным содержанием легирующих элементов свыше 10 % при содержании железа в них более 45 %. Если содержание железа меньше этой цифры, то материалы считаются специальными сплавами. К этой группе относятся стали и сплавы, обладающие специфическими свойствами: высокой антикоррозионной стойкостью при комнатной и повышенной температурах, сопротивлением ползучести при нагреве и др. Материалы этой группы в зависимости от температурных условий эксплуатации изделий разделяют на жаропрочные и жаростойкие.

**Жаростойкость** (окалиностойкость) – свойство металлов и сплавов хорошо противостоять при высоких температурах химическому воздействию, в частности окислению на воздухе или в другой газовой среде.

**Жаропрочность** – способность материалов при высоких температурах выдерживать без разрушения механические нагрузки.

Подобным требованиям соответствуют материалы с высокой степенью легирования – высоколегированные стали и специальные сплавы. В качестве легирующих элементов используют хром, никель, марганец,

кремний, кобальт, вольфрам, ванадий, молибден, титан, бор и др. Высоколегированные стали и сплавы являются важнейшими конструкционными материалами, применяемыми в производстве оборудования для химической промышленности, в авиации, энергетике и реактивной технике.

В первую очередь необходимо отметить высокохромистые стали, используемые в энергетическом и химическом машиностроении. В зависимости от степени легирования хромом они могут относиться к мартенситному, мартенситно-ферритному и ферритному классам. Высокохромистые стали используют в качестве коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных.

Коррозионно-стойкими обычно являются стали с 13 % Cr и более. Одновременно эти стали обладают жаростойкостью до 600 °С и жаропрочностью до 480 °С. Повышение жаропрочности, допускающей длительную работу при значительных напряжениях и температуре до 650 °С, достигается дополнительным легированием молибденом, ванадием, ниобием, бором и другими элементами. Хромистые стали весьма чувствительны к термическому воздействию при сварке, что необходимо учитывать при разработке технологических процессов. Жаростойкими и жаропрочными материалами являются высоколегированные аустенитные стали и сплавы. Их классифицируют по системе легирования, структурному классу, свойствам и служебному назначению. Основные легирующие элементы – хром и никель. Материалы с суммарным содержанием железа и никеля > 65 % при соотношении никеля и железа 1:1,5 являются железо-никелевыми сплавами, а с содержанием никеля  $\geq 55$  % – никелевыми сплавами.

Аустенитные стали и сплавы являются важнейшей группой материалов, широко используемой в различных отраслях машиностроения для конструкций, работающих в широком диапазоне температур.

К группе аустенитных сталей относятся коррозионно-стойкие хромоникелевые стали, например 08X18N10T. Они обладают высокой пластичностью и хорошо штампуются в холодном состоянии. Главной опасностью при сварке этих сталей является склонность к трещинам и межкристаллитной коррозии сварных соединений.

Склонность к образованию горячих трещин связана с образованием крупнозернистой столбчатой структуры металла шва, высокой литейной усадкой кристаллизующегося металла и значительных деформаций при затвердевании. Основными мерами борьбы с горячими трещинами при сварке этих сталей являются: получение сварных швов с двухфазной структурой (аустенит плюс небольшое количество феррита, карбидов или боридов) для улучшения структуры и измельчения зерна; огра-

ничение вредных примесей в металле; применение неокислительных основных электродных покрытий и фторидных флюсов; уменьшение объема сварочной ванны и отношения ширины шва к глубине проплавления для уменьшения усадочных деформаций при сварке (сварка на пониженных погонных энергиях, рациональная разделка кромок, точные швы).

К межкристаллитной коррозии склонны высоколегированные стали всех классов, имеющие высокое содержание хрома вследствие выпадения под действием нагрева карбидов хрома по границам зерен, обеднения границ зерен хромом и из-за этого пониженной стойкости границ против коррозии. Опасность межкристаллитной коррозии возникает при нагреве хромоникелевых сталей аустенитного и аустенитно-ферритного классов до температур 500–850 °С, при нагреве высокохромистых сталей мартенситного, мартенситно-ферритного и ферритного классов до температур свыше 950 °С.

Исходя из причин межкристаллитной коррозии, основные меры предохранения направлены на предотвращение образования карбидов хрома и выпадения их по границам зерен. С этой целью применяют: ограничение содержания углерода в основном и присадочном металле (при содержании углерода менее 0,02–0,05 % межкристаллитная коррозия исключается); легирование сталей титаном, ниобием, танталом, цирконием, ванадием, которые более активно взаимодействуют с углеродом в стали и препятствуют образованию карбидов хрома; получение двухфазной структуры в хромоникелевых сталях (содержание феррита до 20–25 %) дополнительным легированием основного металла и проволоки хромом, кремнием, алюминием, молибденом, бором; стабилизирующую термообработку, закалку после сварки с целью выравнивания содержания хрома на границах и в теле зерна; технологические меры – сварку при минимальном тепловложении, применение дополнительного охлаждения, уменьшение разбрызгивания, предотвращение ударов, забоин и т.д. С целью экономии никеля вместо этих сталей используют новые с аналогичными технологическими характеристиками (X13M4У, X17Г19АН4 и др.).

Из этих материалов изготавливают конструкции, работающие при температуре до 500 °С. Все шире используют стали переходного аустенитно-мартенситного класса (08X15H5Д2Т, 08X15H9Ю, 08X17H5Ю и др.). Эти стали стареющего типа, в них дополнительно вводят алюминий и молибден. Изменяя режим термообработки, можно изменять механические свойства этих сталей в широких пределах ( $\sigma_B$  от 900 до 1700 МПа и  $\sigma_T$  от 360 до 1500 МПа). Стали переходного типа в упрочненном состоя-

нии по удельной прочности и пластичности ( $\sigma_B/\gamma$ ,  $\sigma_T/\gamma$ ) при повышенных температурах в 1,5 раза и более превосходят другие стали.

В свою очередь, жаропрочные материалы в зависимости от назначения сварных узлов и условий эксплуатации можно разделить на две подгруппы. К первой относятся материалы для изготовления узлов, работающих при высокой температуре без больших силовых нагрузок. Чаще всего это листовые конструкции, для изготовления которых используются стали ХН78Т, ВЖ100, ХН75МБТЮ, ХН38ВТ и др. Эти материалы при 900 °С в течение длительного времени (100 ч) сохраняют  $\sigma_B=15-75$  МПа. Конструкции из них хорошо работают в газовых средах при 900–1150 °С. Эти материалы хорошо штампуются и свариваются, часто не требуют термической обработки после сварки. Они отличаются высокой жаростойкостью, хорошо выдерживают теплосмены.

Материалы второй группы используют для изделий, работающих при высоких температурах и испытывающих значительные нагрузки. В основном это материалы на никелевой и никелево-кобальтовой основе типа ХН77ТЮР, ЖС6. Основные требования к ним – жаропрочность, жаростойкость, стойкость к теплосменам, технологичность при обработке. Невысокая пластичность большинства этих материалов допускает формообразование их только с нагревом. Для получения качественных сварных соединений требуется сложная технология сварки. Жаропрочность сварных соединений этих сплавов составляет 80–90 % от жаропрочности основного металла.

При сварке высоколегированных сталей и сплавов трудно обеспечить стойкость металла шва и металла в зоне термического влияния к образованию трещин, коррозионную стойкость сварного соединения, сохранить свойства металла шва и сварного соединения во времени под действием напряжений и при высоких температурах, получение плотных швов.

Технологические особенности сварки высоколегированных сталей обусловлены их физическими свойствами. Пониженная теплопроводность и большое электрическое сопротивление (примерно в 5 раз больше, чем у углеродистых сталей) способствуют большей скорости плавления металла, большей глубине проплавления и коэффициенту наплавки. Пониженная теплопроводность и большой коэффициент линейного расширения обуславливают усиленное коробление конструкций при сварке. Поэтому при дуговых процессах сварку производят на режимах с меньшими значениями силы тока и погонной энергии, при меньших вылетах электрода и большей скорости его подачи по сравнению со сваркой углеродистых сталей.

Одной из основных задач технологии дуговой сварки высоколегированных сталей и сплавов является обеспечение равномерности химического состава по длине шва и его сечению, что достигается при строгом сохранении постоянства условий сварки. При механизированных способах легче обеспечить постоянство сварочного режима и стабильность состава, структуры и свойств металла шва. Поэтому при изготовлении конструкций из высоколегированных сталей и сплавов необходимо стремиться к максимальной механизации сварочных процессов.

Для предотвращения угара легирующих элементов и защиты от взаимодействия с воздухом предъявляются дополнительные требования – сварка в инертной среде, применение безокислительных покрытий и флюсов, сварка короткими дугами. Лучшие результаты обеспечивает автоматическая сварка. Для сварки высоколегированных сталей и сплавов используют ручную дуговую сварку покрытыми электродами, ручную, механизированную и автоматическую сварку в защитных газах, сварку под флюсом, электрошлаковую.

Сварку покрытыми электродами выполняют на пониженных по сравнению со сваркой углеродистых сталей токах, на постоянном токе обратной полярности, ниточными швами без поперечных колебаний, короткой дугой.

$$I_{св}=(15-35)d. \quad (16.1)$$

Используют электроды с основным покрытием со стержнем из проволоки, соответствующей марке свариваемой стали с учетом показателя свариваемости и эксплуатационных требований. Например, при сварке хромоникелевой стали 12Х18Н10Т для предотвращения образования горячих трещин и межкристаллитной коррозии используют электроды типа Э-04Х20Н9 (марка ЦЛ-11) или Э-02Х19Н9Б (ОЗЛ-7), обеспечивающие в шве аустенитно-ферритную структуру (2,5–7 % феррита). Сварку под флюсом используют для соединения толщиной 3–50 мм. По сравнению со сваркой углеродистых сталей для высоколегированных сталей в 1,5–2 раза уменьшается вылет электрода, применяют электроды диаметром 2–3 мм, сварка многослойная, на постоянном токе обратной полярности с использованием безокислительных флюсов (АНФ-14, АН-26 и т.д.). Серьезным преимуществом сварки под флюсом по сравнению с ручной наряду с повышением производительности и качества соединений является снижение затрат, связанных с разделкой кромок.

Сварку в защитных газах проводят в инертных газах неплавящимся и плавящимся электродами непрерывно горячей и импульсной дугами. Аргонодуговую сварку вольфрамовым электродом используют для деталей толщин менее 7 мм и для сварки корневого шва. Сварку плавя-



щимся электродом выполняют в аргоне, а также в смесях аргона с гелием, применяют и смеси аргона с кислородом и углекислым газом. Сварку плавящимся электродом выполняют на силе тока, обеспечивающей струйный перенос металла электрода.

### **16.5. СВАРКА ЧУГУНА**

Чугунами называют сплавы железа с углеродом при содержании углерода более 2 %. Углерод в чугуне находится или в виде выделений графита, или в виде химического соединения  $Fe_3C$  – цементита. Существует два типа чугуна – белый и серый. В белом чугуне углерод в основном содержится в виде цементита, отличающегося высокой твердостью и повышающего хрупкость сплава. Поэтому в конструкциях белый чугун не используют. В сером чугуне углерод в основном содержится в виде пластинчатого графита. Кроме того, широкое распространение имеет высокопрочный чугун, в котором графит имеет шарообразную форму, и ковкий чугун, содержащий хлопьевидные включения графита. Несмотря на то, что графитные включения разобщают металлическую основу сплава и приводят к концентрации напряжений, серые, высокопрочные и ковкие чугуны отличаются от белых более высокой пластичностью.

В сером чугуне помимо углерода (3,2–3,8 %) обычно присутствует кремний (1–5 %) и марганец (0,5–0,8 %). В маркировке серого чугуна указывается его прочность при растяжении и изгибе. Например, СЧ 18–36 означает: серый чугун с прочностью на растяжение 180 МПа и прочностью на изгиб 360 МПа.

В высокопрочных чугунах графит имеет шаровидную форму за счет модифицирования (измельчения структуры) магнием. Вследствие этого повышаются пластические свойства чугуна. В маркировке высокопрочного чугуна указываются прочность и относительное удлинение при растяжении. Например, ВЧ 40–10 означает: высокопрочный чугун, имеющий предел прочности при растяжении 400 МПа и относительное удлинение 10 %.

В ковких чугунах углерод находится в свободном состоянии, но имеет хлопьевидную форму за счет длительного отжига (томления) при высокой температуре (20–25 ч при 950–1000 °С). Маркируют ковкий чугун как высокопрочный. Например, КЧ 30–6 означает: ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 300 МПа и относительным удлинением 6 %.

Свариваемость и свойства сварных соединений зависят от структуры чугуна. Структура определяется составом чугуна и технологически-

ми факторами, главным из которых является скорость охлаждения от высоких температур. Главный процесс, формирующий структуру, – это процесс графитизации, т.е. процесс выделения углерода в чугуне. Процесс графитизации при сварке является благоприятным, так как выделение углерода в свободном состоянии уменьшает хрупкость чугуна. Все элементы, содержащиеся в чугуне, делятся на две группы: способствующие графитизации (графита торы) – С, Si, Al, Ni, Co, Cu; задерживающие графитизацию (отбеливающие), способствующие выделению углерода в виде цементита и охрупчиванию чугуна – S, V, Cr, Sn, Mo, Mn. Основными трудностями при сварке чугуна являются: охрупчивание сварного шва и зоны термического влияния в связи с отбеливанием, при охлаждении после сварки; склонность к образованию холодных трещин в связи с образованием хрупких структур и наличие высоких сварочных напряжений; пористость в связи с интенсивным газовыделением при сварке; повышенная жидкотекучесть чугуна, что затрудняет удержание сварочной ванны от вытекания.

Главными трудностями являются охрупчивание металла при сварке и холодные трещины. Поэтому технология сварки чугуна в первую очередь должна учитывать эти факторы. Для борьбы с охрупчиванием и трещинами применяют подогрев металла, используют присадочные материалы, обеспечивающие структуру серого чугуна за счет легирования графитизаторами, а также используют специальные электроды с медью и никелем.

В зависимости от температуры подогрева сварку чугуна разделяют:

- с подогревом (горячая);
- без подогрева (холодная).

Горячая с низким подогревом до 300–400 °С и высоким подогревом до 600–700 °С, холодная – без предварительного подогрева. Наилучшие результаты (отсутствие хрупких структур и трещин, хорошие свойства соединений) получают при горячей сварке. Технология горячей сварки включает в себя следующие операции: подготовку под сварку, предварительный подогрев, сварку, последующее медленное охлаждение изделия.

При горячей сварке чугуна используют следующие виды сварки: газовую, ручную дуговую, механизированную дуговую и порошковой проволокой.

Ручную дуговую сварку выполняют плавящимися, покрытыми и угольными электродами. Для сварки плавящимся электродом используют чугунные электроды (ОМЧ-1, ВЧ-3, ЭП-4 и др.), которые состоят из чугунного стержня марок А и Б и содержат 3–3,5 % углерода, 3–4 % кремния, 0,5–0,8 % марганца и стабилизирующее покрытие с добавкой

графитизаторов. Сварку ведут на повышенных токах с использованием специальных электрододержателей.

$$I_{св} = (60-100)d. \quad (16.2)$$

Используют электроды диаметром до 12 мм. Сварку угольным электродом проводят стержнем диаметром 8–20 мм с использованием присадочных чугуновых прутков марок А и Б и флюса на основе буры. Наряду с ручной применяют механизированную горячую сварку чугуна порошковой проволокой типа ППЧ-3, содержащей 4,5–5 % С; 5,3–4,0 % Si; 0,1–0,3 % Al; 0,1–0,3 % Ti. Недостатком горячей сварки чугуна является усложнение технологии, связанной с подогревом, и тяжелые условия работы сварщика.

При холодной сварке чугуна требуются специальные меры, чтобы получить соединение без трещин и хрупких зон. К этим мерам относят применение электродов с повышенным содержанием графитизаторов (С, Si), а также модификаторов. Чтобы получить в шве структуру серого чугуна, эти элементы вводят в металл шва через электродный стержень, покрытие (при использовании стальных стержней) или через наполнитель порошковой проволоки. Также применяют электроды, обеспечивающие получение в металле шва пластичной структуры из цветных металлов и сплавов.

Для этой цели используют сплавы на основе меди и никеля (электроды МНЧ-1), которые не образуют соединения с углеродом, уменьшают его растворимость, способствуют графитизации, уменьшают отбеливание в металле шва. Используют железомедные, железоникелевые и медно-никелевые электроды. Такие электроды делают составными – стержень из цветного металла, а железо вводят в виде оплетки, дополнительного стержня или порошка в покрытие. Содержание железа в металле шва обычно не должно превышать 10–15 %, а сварку ведут на минимальном тепловложении, для того чтобы уменьшить зону нагрева с образованием остаточных напряжений и структурных изменений. Для этого применяют электроды малых диаметров 3–4 мм, малую силу тока. Сварку ведут короткими участками 15–25 мм. Делают проковку шва после сварки.

$$I_{св} = (20-30)d. \quad (16.3)$$

Применяют также другие специальные меры, например сварку со стальными шпильками для получения прочного механосварного соединения. В кромки детали предварительно ввертывают шпильки, кото-

рые затем заваривают. Применяют низкотемпературную газовую пайку-сварку. Холодную сварку применяют при ремонте и восстановлении деталей простой формы, малой толщины.

## ВОПРОСЫ

1. Какие общие свойства учитываются при выборе конструкционных материалов для изготовления сварных конструкций?
2. Назовите основные факторы для классификации конструкционных сталей.
3. Назовите особенности поведения низкоуглеродистых и низколегированных сталей в условиях сварки и технологические особенности ее выполнения.
4. Опишите особенности поведения легированных и углеродистых закаливающихся сталей в условиях сварки. Каковы требования к выбору технологии выполнения сварных соединений из этих материалов?
5. Что представляет собой высоколегированные стали и сплавы? Их свойства и различия.
6. Назовите технологические особенности сварки высоколегированных сталей и сплавов.
7. Каковы основные трудности и технология сварки чугуна?
8. Почему в высоколегированных сталях не допускается высокое содержание углерода?
9. Как предотвратить образование трещин при дуговой сварке легированных высокопрочных сталей и сплавов 30ХГСНА?

## ГЛАВА 17. СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

### 17.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

По своим физико-химическим свойствам цветные металлы и сплавы резко отличаются от сталей, что необходимо учитывать при выборе вида сварки и технологии. По химической активности, температурам кипения и плавления, теплопроводности, плотности, механическим характеристикам, от которых зависит свариваемость, цветные металлы условно можно разделить на группы:

- легкие (алюминий, магний, бериллий);
- активные и тугоплавкие (титан цирконий, ниобий, молибден, тантал, хром);
- тяжелые (медь, никель);
- драгоценные (золото, серебро, платина).

Специфика физико-химических свойств цветных металлов определяет особенности поведения их в условиях разных видов обработки, в первую очередь при сварке.

Одной из характерных особенностей большинства цветных металлов является их высокая химическая активность при взаимодействии с газами воздуха. Это приводит к окислению металлов, насыщению их азотом и водородом. В результате наблюдается резкое ухудшение свойств сварных соединений, появление пор и трещин. Это предопределяет необходимость применять более качественные виды защиты (инертными газами, специальными флюсами и покрытиями) по сравнению со сваркой черных металлов, проводить более качественную подготовку под сварку. Второй характерной особенностью цветных металлов является их высокая чувствительность к сварочному нагреву, которая проявляется в образовании крупнокристаллической структуры металла шва, росте зерна в зоне термического влияния, а для термически упрочняемых сплавов – в неблагоприятных структурных изменениях с образованием охрупчивающих выделений и последующем старении металла. Возможно выпадение эвтектических составляющих, вызывающих местные оплавления границ зерен, что приводит к существенному изменению свойств по сравнению с исходным материалом. Поэтому для цветных металлов необходимо более тщательно выбирать условия сварки и соблюдать стабильность рекомендуемых режимов.

Для некоторых цветных металлов и их сплавов характерна высокая склонность к горячим трещинам в связи с большой линейной усадкой кристаллизующегося металла, образованием грубокристаллической

структуры и наличием примесей (алюминиевые, магниевые, никелевые сплавы).

При взаимодействии металлов с водородом могут образовываться хрупкие гидриды (титан и его сплавы), выделяющиеся в металл, с увеличением объема, что приводит к развитию внутренних напряжений и способствует образованию холодных трещин. Последние могут развиваться даже при вылеживании конструкций после сварки. Одним из характерных дефектов является также пористость, связанная преимущественно с насыщением сварного соединения газами, в первую очередь водородом. Вследствие различной растворимости газов в твердом и жидком состояниях, перемещения их из основного металла в зону сварки, протекания химических реакций с выделением газообразных продуктов создаются благоприятные условия для зарождения и развития пористости. Отмеченные особенности требуют высокой культуры производства при сварке цветных металлов и сплавов.

## **17.2. СВАРКА ЛЕГКИХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

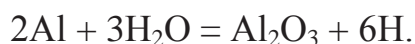
Сварка алюминия и его сплавов. Отличаясь малой массой, сравнительно высокой прочностью, хорошей обрабатываемостью, алюминиевые сплавы имеют большую применимость во всех отраслях народного хозяйства. Высокая коррозионная стойкость, теплопроводность и электропроводность во многих случаях делают их труднозаменяемыми конструкционными материалами. В сварных конструкциях получили распространение деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой (АД, АД1, АМц, АМгб и др.), и сплавы, упрочняемые термообработкой (АД31, АД33, 1201, 1420 и др.).

Алюминий обладает способностью активно взаимодействовать с кислородом. Образующийся оксид алюминия  $Al_2O_3$  покрывает поверхность металла прочной и плотной пленкой. Окисление алюминия при нормальной температуре после достижения предельной толщины пленки практически прекращается. Поэтому пленка обладает защитными свойствами. Важнейшей характеристикой пленки оксида алюминия является ее способность адсорбировать газы, в особенности водяные пары. Коэффициент теплового расширения пленки почти в 3 раза меньше, чем у алюминия, поэтому при нагреве в ней образуются трещины. При наличии в сплаве легирующих добавок состав пленки может меняться и приобретать более сложный состав, включая оксиды этих добавок. Подобные сложные пленки могут быть более рыхлыми, гидроскопичными и не обладать защитными свойствами.

Наличие оксидной пленки на поверхности алюминия и его сплавов затрудняет процесс сварки. Обладая высокой температурой плавления (2050 °С), оксидная пленка не расплавляется в процессе сварки и, покрывая металл прочной оболочкой, затрудняет образование общей сварочной ванны. При сварке должны быть приняты меры для разрушения пленки и защиты металла от повторного окисления. Для удаления оксидной пленки при сварке используют применение флюсов и процесс катодного распыления. Роль флюсов в удалении пленки заключается в их смывающем действии. Катодное распыление обусловлено бомбардировкой поверхности катода положительно заряженными ионами дуги. Далее алюминий и сплавы склонны к образованию в швах газовых пор и оксидных включений. Поэтому перед сваркой требуется тщательная подготовка поверхности по удалению старой оксидной пленки.

Присутствие на поверхности металла прочной оксидной пленки сказывается на характере капельного переноса электродного металла при сварке. При наличии окислительной среды размер капель с электрода достигает большой величины и горение дуги протекает неустойчиво. Начиная с определенной плотности тока крупнокапельный перенос металла электрода сменяется мелкокапельным, струйным. Дуга приобретает высокую устойчивость и способность к саморегулированию. Это объясняется тем, что начиная с определенного значения сварочного тока силы, отрывающие каплю электрода, превалируют над силами, удерживающими ее. В связи с этим капля отрывается от электрода раньше, чем успевает вырасти до своих конечных размеров. Для устранения оксидных включений в металле швов рекомендуются различные технологические приемы для перемешивания металла сварочной ванны и дробления оксидных пленок. Алюминий активно реагирует со всеми газами. Однако при наличии в атмосфере кислорода в первую очередь образуется пленка оксидов, препятствующая дальнейшему обмену с окружающей средой.

Водород, в отличие от других газов, обладает способностью растворяться в алюминии и при определенных условиях образовывать поры в металле шва. Основным источником водорода, растворяющегося в сварочной ванне, служит реакция взаимодействия влаги с металлом



При охлаждении растворенный в жидком металле водород в связи с понижением растворимости стремится выделиться из него. Пузырьки выделяющегося водорода, не успевая всплыть из ванны, остаются в металле шва, образуя поры. Основной мерой борьбы с пористостью при сварке алюминия является снижение концентрации растворенного в нем

водорода до предела 0,69–0,7 с/ 10 г металла. Источником водорода, поступающего в зону дуги при аргонодуговой сварке, является влага, адсорбированная поверхностью свариваемого металла. Количество её определяется состоянием поверхности металла и зависит от обработки его перед сваркой. Для снижения концентрации водорода в металле швов при сварке алюминия до пределов, исключающих возможность появления в нем пор, рекомендуются следующие меры:

- применение обработки поверхности деталей и проволоки перед сваркой;
- сокращение удельной поверхности проволоки, участвующей в образовании металла, путем увеличения диаметра присадочной проволоки и уменьшения доли участия присадочного металла в образовании шва.

Кристаллическая структура металла шва в большой степени определяет его механические свойства. Чистый алюминий обладает способностью при кристаллизации образовывать в шве крупнокристаллическую структуру, в связи с чем при сварке алюминия высокой чистоты в металле швов часто образуются трещины. Улучшение кристаллической структуры металла швов при сварке алюминия и некоторых его сплавов может быть достигнуто модифицированием металла при сварке, введением в него 0,2–0,25 % Ti. Применяемые сварочные проволоки для сварки различных сплавов алюминия установлены ГОСТ 7871-75.

При сварке алюминия и сплавов, не упрочняемых термообработкой, в зоне теплового воздействия наблюдаются рост зерна и возможное разупрочнение, вызванное снятием нагартовки для холоднокатаного металла. Интенсивность укрупнения структуры и разупрочнения при сварке может изменяться в зависимости от метода сварки, режима и величины предшествовавшей нагартовки. Практика показывает, что сварные соединения, выполненные из этих сплавов, по прочности не уступают прочности основного металла в отожженном состоянии. Из термически неупрочняемых сплавов широко распространено применение сплавов системы Al–Mg. При сварке сплавов, упрочняемых термообработкой, в зонах около шва происходят изменения, существенно снижающие свойства свариваемого металла. Самое опасное изменение, вызывающее в большинстве случаев резкое снижение свойств металла и образование трещин, – оплавление границ зерен.

При сварке плавлением конструкций из алюминиевых сплавов возможны различные типы сварных соединений. Наибольшее распространение получили стыковые соединения. Нахлесточные, тавровые и угловые соединения желательно выполнять аргонодуговой сваркой, для которой не требуется флюсов. При наличии флюсов возникает опасность



последующей их коррозии, вызванной остатками флюса, не удаленными при сварке угловых швов.

При аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом стыковых соединений без скоса кромок для исключения оксидных включений в металле швов необходимо применять подкладки рациональной формы (рис. 17.1).



*Рис. 17.1. Подкладка для сварки алюминиевых сплавов*

Стрелками показано направление течения жидкого металла при заполнении канавки и расположение включений оксидов. При сварке на подкладке с канавкой сложного профиля торцовые поверхности кромок при расплавлении листов полностью выводятся в проплав и вероятность образования включений оксидных пленок снижается. При сварке стыковых соединений в зависимости от толщины свариваемого металла, принятого способа сварки используют различные виды подготовки кромок. Помимо механической обработки кромок свариваемых деталей для придания им необходимой формы, облегчающей выполнение соединений, осуществляется подготовка деталей к сварке, включающая очистку их поверхностей от загрязнений и оксидов. Загрязнения должны удаляться или со всей поверхности свариваемых деталей, или же только с их кромок на определенной ширине (20–30 мм) вдоль стыка. Для частичного или местного обезжиривания кромок их протирают бензином, ацетоном, четыреххлористым углеродом, хорошо растворяющим жировые загрязнения, или обрабатывают в щелочных ваннах. Для удаления поверхностной оксидной пленки применяют механическую обработку – очистку поверхности деталей шлифовальной бумагой, шабером или проволочной щеткой, химическое травление деталей в специальных растворах щелочей или кислот.

Обезжиривание и травление проволоки проводят по технологии, принятой для обработки основного металла. Наиболее целесообразны для подготовки проволоки два варианта:

- 1) обезжиривание травление в щелочных ваннах по технологии, принятой для основного металла;
- 2) обезжиривание, травление по той же технологии с последующим химическим или электрохимическим полированием полученной поверхности.

Ручная дуговая сварка алюминиевых сплавов может быть выполнена электродами ОЗА-1, ОЗА-2 с покрытиями на основе хлористых и фтористых солей. Наилучшие результаты получаются при применении постоянного тока обратной полярности. При сварке на прямой полярности наблюдается очень быстрое плавление электрода. Обычно сварку покрытыми электродами применяют для металла толщиной более 3–4 мм. Концентрированный нагрев дугой способствует глубокому проплавлению основного металла. В связи с этим при сварке металла толщиной до 6 мм не требуется разделка кромок. При двусторонней сварке без скоса кромок можно сваривать металл толщиной 10–12 мм, а при применении предварительного подогрева – до 18–20 мм. При односторонней сварке листов толщиной более 6 мм без подогрева рекомендуется подготовка кромок с углом разделки 60–70° и притуплением не менее 1/4 толщины свариваемых листов. Разработан процесс сварки под флюсом алюминия толщиной 10 мм и выше с применением керамического флюса ЖА-64, имеющего небольшую электропроводность и относительно невысокую гигроскопичность.

Электрошлаковую сварку выполняют со специально разработанными флюсами на основе фтористых и хлористых солей (АН-А301 и др.) пластинчатым электродом. Технология электрошлаковой сварки принципиально не отличается от известных приемов сварки других металлов. При электрошлаковой сварке сплавов АД1, АМц, АМгб обеспечиваются высокие свойства сварных соединений. Прочность металла шва равна 0,8–0,9 прочности основного металла.

При сварке в среде аргона алюминиевых сплавов отпадает необходимость применения флюсов. Это значительно упрощает процесс и делает возможным сварку соединений различных типов. Для защиты при сварке алюминиевых сплавов применяют аргон высшего сорта или смеси аргона с гелием. При сварке на переменном токе удается сохранить высокую стойкость вольфрамового электрода и добиться удаления оксидной пленки на детали.

При сварке вольфрамовым электродом и питании дуги переменным током условия горения дуги в полупериоды разной полярности отличаются. В полупериоды, когда вольфрам является катодом, благодаря мощной термоэлектронной эмиссии проводимость дугового промежутка возрастает, увеличивается сила тока и снижается напряжение дуги. В полупериод, когда катодом становится деталь (холодный катод), проводимость дугового промежутка снижается, уменьшается сила тока дуги и возрастает напряжение. В результате этого синусоида силы тока дуги оказывается несимметричной, что равносильно действию в цепи дуги некоторой постоянной составляющей тока.

Наличие постоянной составляющей силы тока нежелательно в цепи дуги из-за ухудшения формирования швов. Поэтому в большинстве случаев величину постоянной составляющей силы тока при сварке вольфрамовым электродом стремятся ограничить. Основное преимущество сварки вольфрамовым электродом в среде аргона – высокая устойчивость горения дуги. Благодаря этому процесс успешно используют при сварке металла толщиной 0,8–3 мм. Применение импульсной дуги для сварки алюминиевых сплавов расширяет возможность сварки неплавящимся электродом. При сварке импульсной дугой на переменном токе удается сваривать сплавы толщиной 0,2 мм и выше. Стыковые соединения металла толщиной 0,2–1 мм сваривают с применением присадочной проволоки диаметром 0,6–0,9 мм на стальных подкладках формирующими канавками. Для питания дуги необходимы специализированные импульсные источники тока. При сварке импульсной дугой алюминиевых сплавов толщиной 0,2–12 мм коробление кромок снижается на 40–60 %.

Для сварки вольфрамовым электродом металла большей толщины необходимо повысить стойкость электродов, для чего используют электроды марки ВИ с добавками иттрия. Допустимый сварочный ток для электродов этой марки диаметром 10 мм достигает 800–1000 А. Это определяет возможность сваривать за один проход высокоамперной дугой металл толщиной до 20 мм.

Для сварки металла толщиной менее 0,8 мм разработан процесс микроплазменной сварки на переменном токе, обеспечивающий нормальное катодное распыление и очистку сварочной ванны в полупериоды обратной полярности и достаточную стойкость вольфрамового электрода. Этот способ позволяет сваривать алюминиевые сплавы толщиной 0,2–2 мм при силе тока 10–100 А. В качестве плазмообразующего газа при микроплазменной сварке используют аргон, а защитного газа – гелий.

Покрытые электроды применяют при ручной дуговой сварке алюминиевых сплавов толщиной более 3 мм. Для более тонкого металла не удается добиться устойчивого горения дуги и мелкокапельного струйного переноса металла электрода. В связи с недостаточно высокой жесткостью алюминиевой проволоки сварка проволокой диаметром менее 1,2–1,5 мм затруднена. Устойчивое горение дуги с применением проволоки этих диаметров и обеспечением струйного переноса металла возможно при силе тока выше 130 А, позволяющей сваривать металл толщиной более 4–5 мм. Для питания дуги при сварке плавящимся электродом необходимы источники постоянного тока с жесткой падающей внешней вольтамперной характеристикой. При сварке на об-

ратной полярности обеспечивается надежное разрушение оксидной пленки на кромках за счет катодного распыления и нормальное формирование швов.

Преимущества процесса сварки плавящимся электродом: хорошее перемешивание сварочной ванны, меньшая вероятность получения в металле швов крупных оксидных включений, а также высокая производительность, особенно сварки металла большой толщины. Разработан процесс сварки плавящимся электродом с импульсным режимом питания дуги. Под действием импульса сварочного тока происходит ускоренное плавление металла электрода и образовавшаяся на его торце жидкая капля сбрасывается в сварочную ванну. При таком процессе есть возможность регулировать плавление электрода, задавать определенный размер капель, контролировать время пребывания их в дуге и в конечном итоге задавать ход металлургических реакций при сварке с целью получения требуемого состава и свойств шва. Импульсное изменение силы тока оказывает воздействие на сварочную ванну, способствуя получению более мелкой структуры металла шва, плавных очертаний валиков швов с мелкочешуйчатой структурой. Пульсация дуги и перенос присадочного металла в виде отдельных капель дают возможность сварки в различных пространственных положениях. Разработана технология сварки алюминий-магниевого сплава сжатой дугой переменного тока. Преимуществами этого способа являются значительное сокращение зоны теплового влияния, высокая стабильность процесса и пространственная устойчивость дуги.

Применение трехфазной дуги при той же стойкости вольфрамовых электродов позволяет повысить мощность теплового потока в 1,5–2 раза. При трехфазной сварке удается сваривать металл толщиной до 30 мм при сохранении высоких значений механических характеристик. Для сварки трехфазной дугой требуются специализированные источники и сварочные горелки. Горелки должны быть рассчитаны на длительную работу при силе тока 100–700 А, иметь водяное охлаждение и плавную регулировку электродов по высоте.

Для сварки алюминиевых сплавов деталей больших толщин используется процесс сварки вольфрамовым электродом на прямой полярности в среде гелия. При скорости сварки 5–7 м/ч и силе тока 1000–1200 А без скоса кромок удается сваривать металл толщиной более 30 мм. Недостатком процесса является большой расход гелия. Этот недостаток можно уменьшить при использовании процесса с применением кольцевого газозащитного потока аргона с дополнительной подачей в зону дуги гелия. Расход защитных газов при этом можно резко уменьшить.

Сварка магниевых сплавов. Магний и его сплавы являются наиболее легкими конструкционными материалами. Плотность магния  $1,7 \text{ г/см}^3$ , т.е. почти в 1,5 раза меньше плотности алюминия и в 4,5 раза меньше плотности железа, поэтому удельные показатели механических характеристик многих сплавов на основе магния превосходят аналогичные показатели свойств других материалов. Наиболее распространенными легирующими элементами в магниевых сплавах являются алюминий и цинк.

Отличительной чертой магния и его сплавов является повышенная чувствительность к коррозии во многих средах. Это объясняется тем, что оксидная пленка на поверхности металла рыхлая и не обладает высокими защитными свойствами, например оксидная пленка на алюминии.

Магний – один из наиболее активных по отношению к кислороду металлов. В результате его окисления образуется оксид  $\text{MgO}$ , покрывающий поверхность металла пленкой. Температура плавления оксида магния  $2800 \text{ }^\circ\text{C}$ , плотность  $3,65 \text{ г/см}^3$ . В связи с высокой температурой плавления оксидная пленка на магниевых сплавах, также как и при сварке алюминия, затрудняет образование общей сварочной ванны и должна быть разрушена или удалена в процессе сварки. Оксидная пленка на магниевых сплавах отличается рыхлостью и способна удерживать большое количество влаги.

Водород обладает способностью растворяться в магнии в гораздо больших количествах, чем в алюминии. При температуре плавления металла в нем растворяется до  $50 \text{ см}^3/100 \text{ г}$  металла и резко снижается при кристаллизации. В связи с понижением растворимости водорода в жидком металле при охлаждении имеется возможность выделения его в виде пузырьков и образования газовых пор. Мерами снижения пористости при сварке магниевых сплавов является уменьшение поверхности основного и присадочного металлов, участвующих в образовании швов, и применение тщательной обработки поверхности проволоки и свариваемых кромок перед сваркой. При кристаллизации магния в металле шва образуется крупнокристаллическая структура. Появление эвтектики по границе зерен в виде сплошных прослоек приводит к образованию горячих трещин. Повышение сопротивляемости сплавов к образованию горячих трещин достигается введением в их состав модификаторов.

При сварке магниевых сплавов, упрочняемых термообработкой наряду с укрупнением зерна в зоне термического влияния, возможен распад твердого раствора и оплавление границ зерен. Это приводит к разупрочнению металла околошовной зоны (до  $0,7\text{--}0,9$  прочности основного металла) и иногда к образованию трещин. В связи с высоким коэффици-

ентом теплового расширения магниевых сплавов в сварных соединениях возникают остаточные напряжения при сварке, вызывающие коробление конструкций. Деформации могут способствовать возникновению трещин. Для предупреждения трещин и уменьшения деформаций, особенно для толстых деталей, в некоторых случаях рекомендуется сварка с подогревом, а иногда и последующая термообработка для снятия напряжений.

Из всех способов сварки основное значение в настоящее время имеют способы дуговой сварки магниевых сплавов в среде аргона вольфрамовым и плавящимся электродами. При сварке этими способами исключается опасность коррозии, вызванной остатками флюсов. Основное и наиболее желательное соединение стыковое. Сварка их производится на подкладках с достаточно глубокими канавками, обеспечивающими удаление оксидных включений в проплав. В связи с недостаточной пластичностью магниевых сплавов отбортовка кромок даже для металла малых толщин практически не применяется. Встык без скоса кромок рекомендуется сваривать соединения только за один проход при односторонней сварке на прокладках. Двусторонняя сварка стыковых соединений без разделки кромок не рекомендуется из-за опасности появления в швах большого количества оксидных включений.

При сварке соединений из металла толщиной более 6–10 мм применяют разделку с односторонним скосом кромок и для металла толщиной более 20 мм при наличии двустороннего подхода – разделку с двусторонним скосом кромок. В последнем случае перед выполнением шва с обратной стороны необходима предварительная разделка корня первого шва.

Непосредственно перед сваркой поверхность кромок свариваемых деталей подвергают специальной обработке для удаления оксидной или защитной пленок и имеющихся загрязнений. Для этой цели поверхность зачищают шабером или стальными щетками или обрабатывают в химических ваннах специального состава.

Для сварки конструкций из магниевых сплавов применяют ручную и автоматическую аргонодуговую сварку вольфрамовым электродом и автоматическую сварку вольфрамовыми электродами трехфазной дугой в среде аргона первого состава. Сверху выполняют на стальных подкладках с канавками для формирования проплава. С целью разрушения оксидной пленки используют переменный ток.

Ручной и автоматической сваркой вольфрамовым электродом встык без разделки кромок за один проход могут быть сварены листы толщиной 2–6 мм. Для металла толщиной более 5 мм может быть использована дуговая сварка плавящимся электродом со струйным пере-

носом электронного металла. Процесс ведется на постоянном токе обратной полярности. Сварка плавящимся электродом особенно эффективна для соединения металла большой толщины. При сварке встык без скоса кромок за один проход плавящимся электродом могут быть сварены листы толщиной 5–10 мм.

### **17.3. СВАРКА ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ**

Титановые сплавы являются сравнительно новыми конструкционными материалами. Они обладают рядом ценных свойств, обуславливающих их широкое применение в авиационной промышленности, ракетостроении, судостроении, химическом машиностроении и других отраслях производства.

Главное достоинство этих материалов – сочетание высоких механических характеристик и коррозионной стойкости с малой плотностью (4,5 г/см<sup>3</sup>). Для ряда отраслей большое значение имеют и некоторые специфические свойства титановых сплавов: возможность получения высоких механических свойств при повышенных температурах, пригодность для работы при очень низких температурах, вплоть до температуры жидкого азота, сравнительно хорошая свариваемость, малый коэффициент линейного расширения, немагнитиваемость.

Эти материалы по своим свойствам относятся к теплостойким. Использование сплавов на основе титана особенно эффективно по сравнению с коррозионно-стойкими сталями до температуры 300–350 °С, а с алюминиевыми сплавами – начиная с 200 °С. Общеизвестным температурным пределом применения большинства современных титановых сплавов в технике являются температуры порядка 500 °С, а при кратковременных воздействиях высоких температур этот предел может быть еще выше.

Для сварных конструкций используют или технический титан ВТ1, имеющий  $\sigma_B = 700$  МПа, или специальные сплавы, имеющие в своем составе в качестве легирующих добавок Al, Sn, Zr, Mn, Mo, Cr, Fe и др. Титан имеет две структурные модификации: высокотемпературную и низкотемпературную ( $\beta$ -Ti и  $\alpha$ -Ti соответственно) с температурой полиморфного превращения 883 °С. В зависимости от влияния на полиморфное превращение все легирующие элементы разделяют на  $\alpha$ -стабилизаторы (Al),  $\beta$ -стабилизаторы (V, Mo, Cr, Mn, Fe и др.) и нейтральные упрочнители (Zr, Sn). В зависимости от системы легирования и структуры в нормализованном состоянии получаемые сплавы подразделяются на три класса:  $\alpha$ -сплавы структурой стабильной  $\alpha$ -фазы; ( $\alpha+\beta$ )-сплавы, структура которых содержит  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазы;  $\beta$ -сплавы со структу-

рой стабильной  $\beta$ -фазой Легированием получают сплавы, обладающие высокой прочностью при достаточной пластичности и вязкости. По гарантированной прочности титановые сплавы подразделяют на высокопластичные с прочностью  $\sigma_B=700$  МПа, средней прочности с  $\sigma_B=750-1000$  МПа, высокопрочные с  $\sigma_B=1000$  МПа.

Большинство сплавов обладают высокими технологическими характеристиками: достаточно пластичны, поддаются обработке давлением без нагрева, удовлетворительно свариваются. Основным обстоятельством, затрудняющим сварку этих материалов, является высокая химическая активность титана при высоких температурах по отношению к активным газам (азоту, кислороду, водороду). Механические свойства титановых сплавов сильно зависят от таких примесей (содержание должно строго ограничиваться):  $O_2 < 2 \%$ ,  $N_2 < 0,05 \%$ ,  $H_2 < 0,01 \%$ . В связи с этим необходимое условие получения качественных соединений, особенно при сварке плавлением, – обеспечение надежной защиты от газов не только сварочной ванны, но остывающих участков металла шва и околошовной зоны, нагретых до температуры выше  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ . Дополнительные затруднения при сварке создают большая склонность титана к росту зерна при нагреве до высоких температур и сложный характер фазовых структурных превращений. Результатом этого является снижение пластичности и возникновение большой неоднородности свойств сварного соединения.

Сварку сплавов различных классов необходимо вести на режимах, обеспечивающих наиболее оптимальный интервал скоростей охлаждения, при которых степень снижения пластических свойств оказывается наименьшей. Исходя из этого  $\alpha$ -сплавы целесообразно сваривать на режимах с минимальной погонной энергией, для  $(\alpha+\beta)$ -сплавов рекомендуются мягкие режимы с малыми скоростями охлаждения и для  $\beta$ -сплавов – режимы, обеспечивающие высокую скорость охлаждения.

Титан и его сплавы не склонны к образованию горячих трещин. Это обусловлено благоприятным сочетанием физико-химических свойств титана и его сплавов, а именно малой величиной литейной усадки в сочетании с повышенной прочностью и пластичностью в области высоких температур. При сварке в большинстве случаев используют электродную проволоку, по составу аналогичную основному металлу.

Одним из основных дефектов металла шва при сварке титана его сплавов является пористость. Часто встречается также образование холодных трещин, возникающих при пониженной пластичности, вследствие насыщения металла газами, в первую очередь водородом, причем холодные трещины в таких соединениях могут образовываться при хра-



нении сварных конструкций. С целью предупреждения пор при сварке титана и его сплавов используют различные способы, которые можно разделить на три группы:

- 1) уменьшение количества адсорбированной влаги на кромках свариваемых деталей и поверхности сварочной проволоки, а также создание условий для удаления влаги из зоны сварки до формирования сварочной ванны;

- 2) использование режимов сварки, обеспечивающих наиболее полное удаление из сварочной ванны водорода;

- 3) связывание и интенсификация выделения водорода из сварочной ванны с использованием флюсов.

Снижение количества адсорбированной влаги достигается за счет повышения чистоты обработки, а также регламентации условий и срока хранения подготовленных к сварке деталей. Другим направлением снижения пористости из-за адсорбированной влаги может быть предотвращение формирования замкнутых полостей в зоне стыка. Это достигается при сварке с гарантированным зазором. Наиболее эффективное предотвращение пор при сварке титана и его сплавов достигается при использовании флюсов на основе галогенов. При аргонодуговой сварке флюсом покрывают торцовые поверхности свариваемых кромок тончайшим слоем в виде пасты, замешанной на спирте.

Для соединения деталей из титановых сплавов применяют основные способы сварки плавлением (дуговую с местной или общей защитой в инертных газах, под флюсом, электрошлаковую и др.).

При сварке в атмосфере инертных газов неплавящимся и плавящимся электродами используют аргон высшего сорта или гелий. При сварке с местной защитой используют различные насадки, обеспечивающие защиту основного металла, нагретого свыше температуры 400 °С. Защита создается не только с лицевой стороны детали, но и с обратной стороны соединения. Для этого используют подкладки из пористого материала или специальных конструкций, обеспечивающих подвод газа с нижней стороны шва. Наиболее стабильной защитой является общая защита. О качестве защиты зоны сварки можно судить по внешнему виду сварных соединений. При хорошей защите поверхность металла в зоне сварки имеет серебристый цвет. При недостаточной защите появляются цвета побежалости, а при плохой – серые и бурые налеты.

Сварку неплавящимся электродом выполняют на постоянном токе прямой полярности. Для повышения стабильности процесса используют лантанированные вольфрамовые электроды. Для уменьшения перегрева

металла в зоне термического влияния и улучшения формирования шва используют импульсное питание дуги.

Сварку плавящимся электродом выполняют на постоянном токе обратной полярности на режимах, обеспечивающих мелкокапельный перенос металла. При сварке наблюдается заметное разбрызгивание. Более благоприятно импульсное питание дуги, обеспечивающее хорошее формирование швов, снижающее разбрызгивание и улучшающее защиту. При сварке плавящимся электродом из-за относительно большого электросопротивления титана устанавливают малый вылет электрода. В некоторых случаях для предупреждения образования пор сварку в атмосфере инертных газов осуществляют с применением галогенидных флюсов, наносимых на торцовые поверхности свариваемых кромок.

Для сварки под флюсом применяют бескислородные фторидные флюсы серии АНТ. Марку флюса выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла. Сварку осуществляют на постоянном токе обратной полярности и выполняют на медной, флюсо-медной подкладке или флюсовой подушке. Флюс перед сваркой прокаливают при температуре 200–300 °С. При электрошлаковой сварке титана и его сплавов для швов небольшой протяженности используют пластинчатые электроды толщиной 8–12 мм и шириной, равной толщине свариваемого металла, пластинчатый электрод выполняют из металла, по химическому составу аналогичному составу свариваемого металла.

Сварные соединения, выполненные электрошлаковой сваркой, имеют крупнокристаллическую структуру. Однако в большинстве случаев и прочностные свойства близки к основному металлу при хорошей пластичности.

#### **17.4. СВАРКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ**

Медь относится к тяжелым цветным металлам, ее плотность составляет 8,9 г/см<sup>3</sup>, что выше, чем у железа. Благодаря высокой электропроводности, теплопроводности и коррозионной стойкости медь заняла прочное место в электропромышленности, приборной технике и химическом машиностроении для изготовления разнообразной аппаратуры. Медь и многие ее сплавы применяют для изготовления изделий криогенной техники. Промышленность выпускает медь марок М0 (99, 95 % Cu, примеси не более 0,05 %), М1 (99, 90 % Cu, примеси не более 0,1 %) и др. Чистая медь хорошо обрабатывается давлением в холодном и горячем состоянии, малочувствительна к изменениям низких температур.

При повышении температуры прочностные свойства меди изменяются в широких пределах.

В машиностроении получили распространение сплавы на основе меди – латуни и бронзы, которые имеют лучшие прочностные и технологические характеристики.

Латуни – сплавы меди с цинком. Их подразделяют на две группы: простые (однофазные) многокомпонентные (или специальные). Однофазные латуни (не более 39 % Zn) имеют структуру  $\alpha$ -фазы и называются  $\alpha$ -латунями. Они пластичны, хорошо деформируются в холодном и горячем состоянии. Латуни с содержанием более 39 % Zn имеют ( $\alpha+\beta$ )-структуры, более твердые и прочные, в сварных конструкциях применяются редко.

Бронзы – сплавы меди с оловом, алюминием, марганцем, железом и другими элементами. Бронзы, у которых основным легирующим элементом является олово, называют оловянными бронзами (БрОФ6,5-0,4; БрОФ4-0,25 и др.). Остальные бронзы в зависимости от основного легирующего компонента называются алюминиевыми, кадмиевыми и т.д. В отдельную группу выделяются сплавы меди с никелем – мельхиоры, в качестве легирующего компонента содержащие никель, например МН20 (20 % Ni), и нейзильберы – сплавы с никелем и цинком, например МНц19-20 (19 % Ni и 20 % Zn). В них могут вводиться и другие элементы, такие сплавы получили название специальных мельхиоров и нейзильберов. Сплавы этой группы обладают повышенной коррозионной устойчивостью и применяются в судовой и химической аппаратуре.

Медь и ее сплавы свариваются многими способами. При оценке свариваемости необходимо учитывать, что медь и ее сплавы отличаются от большинства других конструкционных материалов более высокой теплопроводностью (в 6 раз выше, чем у железа), коэффициентом теплового расширения (в 1,5 раза больше, чем у стали) и величиной усадки при затвердевании (в 2 раза больше, чем у стали). Медь и ее сплавы склонны к пористости и возникновению кристаллизационных трещин, активно поглощают газы, особенно кислород и водород, которые оказывают вредное влияние на прочностные и технологические характеристики.

Кислород растворим в твердой меди. При повышении температуры медь активно окисляется, образуя оксид (закись) меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , который при затвердевании образует с медью эвтектику  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$ . Располагаясь по границам зерен, эвтектика снижает коррозионную стойкость и пластичность меди. При содержании в меди кислорода более 0,1 % затрудняются процессы горячей деформации, сварки и других видов горячей обработки. Водород хорошо растворяется в жидкой меди. В затвердев-

шем металле растворимость водорода незначительна. С повышением температуры растворимость водорода возрастает, особенно при переходе в жидкое состояние. Азот имеет малое сродство к меди и нерастворим в ней. Насыщение металла шва газами может быть предпосылкой к образованию пористости. Пористость в швах могут вызвать водяные пары, появившиеся в металле в результате реакции с кислородом оксида меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Водяные пары, накапливаясь в микродефектах металла, создают в них давление, разрушающее металл с образованием микротрещин. Это явление носит название водородной болезни меди. Возникновение пор и микротрещин может быть связано и с усадочными явлениями, протекающими в процессе кристаллизации сварного шва. Низкая стойкость меди и ее сплавов против возникновения пор в швах в основном обусловлена активным взаимодействием меди с водородом и протеканием при этом сопутствующих процессов (образование водяных паров, выделение газообразного водорода).

Медь и ее сплавы при сварке подвержены образованию горячих трещин. Это обусловлено высоким значением коэффициента теплового расширения, большой величиной литейной усадки при затвердевании и высокой теплопроводностью в сочетании с наличием в меди и ее сплавах вредных примесей (кислорода, сурьмы, висмута, серы, свинца), которые образуют с медью легкоплавкие эвтектики. При затвердевании металла шва эвтектики сосредотачиваются по границам кристаллитов, снижая межкристаллитную прочность. Для обеспечения высоких свойств металла концентрацию примесей в меди ограничивают. Например, в меди допускается не более 0,005 % сурьмы, 0,005 % висмута, 0,004 % серы.

При сварке меди и ее сплавов в швах формируется крупнокристаллическая структура. Это связано с тем, что высокая теплопроводность меди и ее сплавов при сварке способствует интенсивному распространению теплоты от центра сварного шва в основной металл. При этом создаются благоприятные условия для направленной кристаллизации от зоны сплавления вглубь сварочной ванны. В шве кристаллиты вытягиваются в направлении теплового потока, образуя крупнозернистую столбчатую структуру. Интенсивное распространение теплоты в основной металл при сварке способствует также росту зерна в зоне термического влияния.

Основными трудностями при сварке меди являются:

- 1) легкая окисляемость в расплавленном состоянии, что способствует образованию горячих трещин;
- 2) влияние вредных примесей, усугубляющих склонность к трещинообразованию и охрупчиванию металла швов;

- 3) высокая чувствительность к вредному влиянию водорода;
- 4) склонность к росту зерна и связанному с этим охрупчиванию под влиянием сварочного нагрева в зоне термического влияния.

Дополнительными технологическими трудностями при сварке меди являются высокая теплопроводимость, высокий коэффициент теплового расширения, жидкотекучесть.

Способы и технологию сварки выбирают с учетом рассмотренных особенностей. Одна из главных задач заключается в том, чтобы не допустить образования и нейтрализовать вредное влияние оксида  $\text{Cu}_2\text{O}$ . С этой целью для защиты используют инертный газ, флюсы и покрытия, содержащие борные соединения (бура, борный ангидрид, борная кислота), и сварочные проволоки с активными раскислителями, например проволоку БрКМцЗ-1, содержащую кремний и марганец и др.

В связи с высокой теплопроводностью меди и ее сплавов для осуществления местного расплавления при сварке необходимо применять источники нагрева с высокой тепловой мощностью и концентрацией энергии в пятне нагрева. Из-за быстрого отвода теплоты ухудшается формирование шва, возрастает склонность к появлению в нем дефектов (наплывов, подрезов и др.). В связи с этим сварку деталей свыше 10–15 мм обычно выполняют с предварительным и сопутствующим подогревом. Изделия из меди подогревают до температуры 250–300 °С, латуней – до 300–350 °С, бронзы – до 500–600 °С.

Тонколистовые конструкции с толщиной стенки 1,5–2 мм сваривают встык без скоса кромок или с отбортовкой кромок. Листы толщиной до 5 мм можно сваривать также без скоса кромок, но с зазором до 1,5 мм. Детали большой толщины сваривают со скосом кромок.

Основными способами сварки меди являются: ручная дуговая покрытыми электродами, автоматическая под флюсом, в защитных газах плавящимся и неплавящимся электродами. Сварку проводят в нижнем положении на подкладках из меди, графита, флюсовой подушке. Соединения больших толщин с угловыми швами рекомендуется сваривать «в лодочку». В качестве присадочного металла применяют пресованные прутки или проволоку диаметром 3–10 мм. Химический состав присадки выбирают в зависимости от требований к сварным швам и способов сварки.

Конструкции из меди сваривают с присадочной проволокой аналогичного состава или легированной фосфором и кремнием до 0,2–0,3 %. При введении в сварочную ванну раскислителей происходит восстановление  $\text{Cu}_2\text{O}$  и металл шва очищается от кислорода. Для повышения прочности шва используют присадку, легированную другими элементами.

Все латуни хорошо свариваются аргонодуговой сваркой неплавящимся вольфрамовым электродом. При сварке простых латуней присадкой рекомендуется сварочная проволока из алюминиевой и кремниевой бронзы. При сварке сложных латуней и бронз присадочную проволоку используют того же состава, что и свариваемый материал.

Дуговую сварку покрытыми электродами выполняют на постоянном токе обратной полярности, стремясь поддерживать короткую дугу без колебаний конца электрода. Силу тока выбирают в зависимости от диаметра электрода из расчета

$$I_{св}=(50-60)d. \quad (17.1)$$

Физические и механические свойства швов обеспечивают подбором химического состава электродного стержня и покрытия.

Автоматическую сварку под флюсом выполняют на постоянном токе обратной полярности. В сочетании с электродной проволокой М1 используют флюсы АН-348, ОСЦ-45, АН-26 и др.

Дуговая сварка в защитных газах (ручная или автоматическая) может быть выполнена в среде аргона, гелия и их смесей вольфрамовым электродом или плавящейся электродной проволокой. Защитным газом для меди может служить и азот, но требуется его предварительная тщательная очистка от паров влаги. При сварке в качестве присадочного материала используют сварочную проволоку БрХ0,7; БрКМц3-1 или медь марки М1 с добавкой фосфора кремния до 0,1–0,2 %. Фосфор и кремний хорошо раскисляют сварочную ванну, снижают пористость и обеспечивают высокие физико-механические свойства сварных швов.

При сварке латуней марок Л59, Л63, Л68 и других рекомендуется применять присадочный металл, легированный кремнием и железом (ЛК80-3, ЛМц59-0,2, ЛЖМц59-1-1, БрКМц3-1). Для сварки сложных латуней и бронз присадочный металл выбирают аналогичный основному.

Специфической особенностью при сварке латуней является интенсивное испарение цинка в процессе сварки, так как температура испарения цинка 907 °С близка к температуре плавления латуни 910 °С. При этом снижается содержание цинка в металле шва и ухудшаются механические свойства соединения. Кроме того, пары цинка опасны для работающего.

Для уменьшения выгорания цинка целесообразны сварка на пониженной мощности, применение присадочного металла, содержащего кремний, который создает на поверхности ванны защитную оксидную

пленку  $\text{SiO}_2$ , препятствующую испарению цинка, использование защитных флюсов.

Специфической трудностью при сварке бронз является их повышенная жидкотекучесть. При сварке бронз, содержащих алюминий, возникают трудности, вызванные образованием оксида алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , поэтому способы и технологию выполнения сварки выбирают такие же, как и при сварке алюминия, а режимы – характерные для медных сплавов.

## ВОПРОСЫ

1. Назовите отличия свойств цветных металлов от сталей. Их поведение в условиях сварки.
2. Какие трудности возникают при сварке алюминия и сплавов на его основе?
3. Чем различаются магниевые и алюминиевые сплавы по отношению к условиям сварки?
4. Каковы особенности свойств титана и его сплавов? Их поведение при сварке.
5. В чем заключаются основные трудности сварки плавлением титана и его сплавов?
6. В чем состоит различие в свойствах меди и ее сплавов от свойств других конструкционных материалов, например сталей?
7. Какие трудности возникают при сварке меди и ее сплавов?
8. Каким образом происходит удаление оксидов с поверхности сварочной ванны при аргонодуговой сварке алюминиевых сплавов вольфрамовым электродом?
9. Почему не применяют дуговую сварку покрытыми электродами для титановых сплавов?

## **ГЛАВА 18. ДЕФЕКТЫ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

### **18.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ**

По ГОСТ 15467-79 качество продукции есть совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Качество сварных изделий зависит от соответствия материала техническим условиям, состояния оборудования и оснастки, правильности и уровня отработки технологической документации, соблюдения технологической дисциплины, а также квалификации работающих. Обеспечить высокие технические и эксплуатационные свойства изделий можно только при условии точного выполнения технологических процессов и их стабильности. Особую роль здесь играют различные способы объективного контроля как производственных процессов, так и готовых изделий. При правильной организации технологического процесса контроль должен быть его неотъемлемой частью. Обнаружение дефектов служит сигналом не только к отбраковке продукции, но и оперативной корректировке технологии.

Сварные конструкции контролируют на всех этапах их изготовления. Кроме того, систематически проверяют приспособления и оборудование. При предварительном контроле подвергаются проверке основные и вспомогательные материалы, устанавливается их соответствие чертежу и техническим условиям.

После заготовительных работ детали подвергают чаще всего наружному осмотру, т.е. проверяют внешний вид детали, качество поверхности, наличие заусенцев, трещин, забоин и т.п., а также измеряют универсальными и специальными инструментами, шаблонами, с помощью контрольных приспособлений. Особенно тщательно контролируют участки, подвергающиеся сварке. Профиль кромок, подготовленных под сварку плавлением, проверяют специальными шаблонами, а качество подготовки поверхности – с помощью оптических приборов или специальными микрометрами.

Во время сборки и прихватки проверяют расположение деталей друг относительно друга, величину зазоров, расположение и размер прихваток, отсутствие трещин, прожогов и других дефектов в местах прихваток и т.д. Качество сборки и прихватки определяют главным образом наружным осмотром и обмером.

Наиболее ответственным моментом является текущий контроль выполнения сварки. Организация контроля сварочных работ может



производиться в двух направлениях: контролируют сам процесс сварки, либо полученные изделия.

Контроль процессов позволяет предотвратить появление систематических дефектов и особенно эффективен при автоматизированной сварке (автоматическая и механизированная дуговая электрошлаковая и др.).

Существуют следующие способы контроля сварочных процессов.

**Контроль по образцам технологических проб.** В этом случае периодически изготавливают образцы соединений из материала той же марки и толщины, что и свариваемое изделие, и подвергают их всесторонней проверке: внешнему осмотру, испытаниям на прочность соединений, просвечиванию рентгеновскими лучами, металлографическому исследованию и т.д. К недостаткам такого способа контроля следует отнести некоторое различие между образцом и изделием, а также возможность изменения сварочных условий с момента изготовления одного образца до момента изготовления следующего.

**Контроль с использованием обобщающих параметров,** имеющих прямую связь с качеством сварки, например использование дилатометрического эффекта в условиях точечной контактной сварки. Однако в большинстве случаев сварки плавлением трудно или не всегда удастся выявить наличие обобщающего параметра, позволяющего достаточно надежно контролировать качество соединений.

**Контроль параметров режима сварки.** Так как в большинстве случаев определенных обобщающих параметров для процессов сварки плавлением нет, то на практике контролируют параметры, непосредственно определяющие режим сварки. При дуговой сварке такими параметрами в первую очередь являются сила тока, дуговое напряжение, скорость сварки, скорость подачи проволоки и др. Недостаток такого подхода заключается в необходимости контролирования многих параметров, каждый из которых в отдельности не может характеризовать непосредственно уровень качества получаемых соединений.

Контроль изделий производят пооперационно или после окончания изготовления. Последним способом обычно контролируют несложные изделия. Качество выполнения сварки на изделии оценивают по наличию наружных или внутренних дефектов. Развитие физики открыло большие возможности для создания высокоэффективных методов дефектоскопии с высокой разрешающей способностью, позволяющих проверять без разрушения качество сварных соединений в ответственных конструкциях. В зависимости от того, нарушается или не нарушается целостность сварного соединения при контроле, различают неразрушающие и разрушающие методы контроля.

## 18.2. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЙ

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

**К первой группе** относятся 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 несоответствия швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры и др. Виды дефектов приведены на рисунке 18.1.

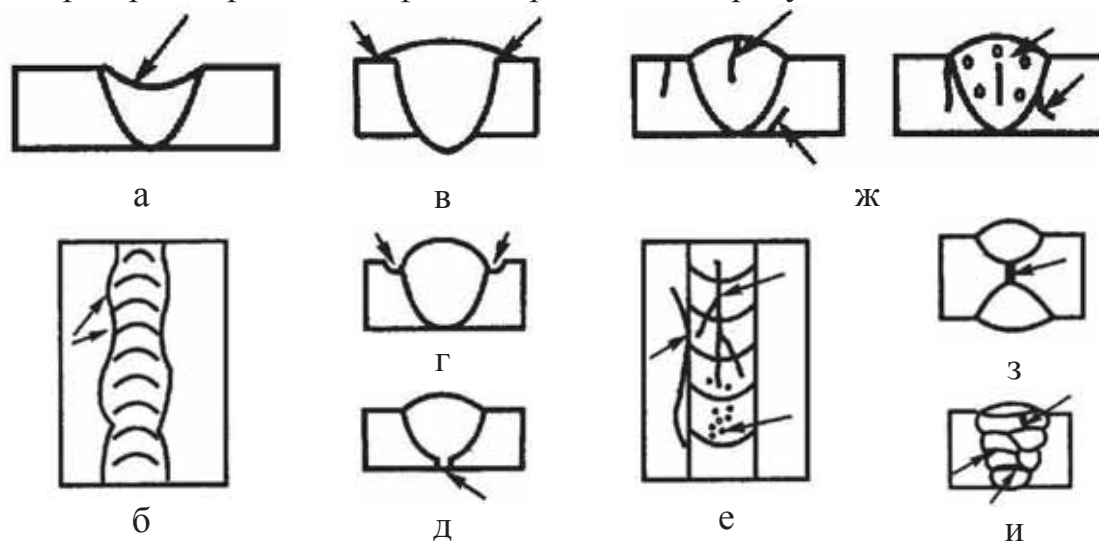


Рис. 18.1. Виды дефектов сварных швов: а – ослабление шва; б – неравномерность ширины; в – наплыв; г – подрез; д – непровар; е – трещины и поры; ж – внутренние трещины и поры; з – внутренний непровар; и – шлаковые включения

Дефектами формы и размеров сварных швов являются их неплотность, неравномерная 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.п. Дефекты формы и размеров швов косвенно указывают на возможность образования внутренних дефектов в шве.

**Наплывы** образуются в результате натекания 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** – это сквозные отверстия в шве, образованные в результате вытекания части металла ванны. Причинами их образования может 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 много-

слоистой сварке. Непровары уменьшают сечение шва и вызывают концентрацию напряжений в соединении, что может резко снизить прочность конструкции. Причины образования непроваров – плохая зачистка металла от окалины, 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**, также как и непровары, являются наиболее опасными дефектами сварных швов. Они могут возникать как в самом шве, так и в околошовной зоне и располагаться вдоль или 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 при многослойной сварке – 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 металла 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.

### **18.3. МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

К неразрушающим методам контроля качества сварных соединений относят внешний осмотр, контроль на непроницаемость (или герметичность) конструкций, контроль для обнаружения дефектов, выходящих на поверхность, контроль скрытых и внутренних дефектов.

**Внешний осмотр и обмеры** сварных швов – наиболее простые и широко распространенные способы контроля их качества. Они являются первыми контрольными операциями по приемке готового сварного узла или изделия. Этим видам контроля подвергают все сварные швы независимо от того, как они будут испытаны в дальнейшем.

Внешним осмотром сварных швов выявляют наружные дефекты, непровары, наплывы, подрезы, наружные трещины и поры, смещение свариваемых кромок деталей и т.п. Визуальный осмотр производят как невооруженным глазом, так и с применением лупы, с увеличением до 10 раз.

Обмеры сварных швов позволяют судить о качестве сварного соединения: недостаточное сечение шва уменьшает его прочность, слишком большое – увеличивает внутренние напряжения и деформации. Размеры сечения готового шва проверяют по его параметрам в зависимости от типа соединения. У стыкового шва проверяют его ширину, высоту, размер выпуклости со стороны корня шва, в угловом – измеряют катет. Замеренные параметры должны соответствовать ТУ или ГОСТам. Размеры сварных швов контролируют обычно измерительными инструментами или специальными шаблонами.

Внешний осмотр и обмеры сварных швов не дают возможности окончательно судить о качестве сварки. Они устанавливают только внешние дефекты шва и позволяют определить их сомнительные участки, которые могут быть проверены более точными способами.

**Контроль непроницаемости сварных швов и соединений.** Сварные швы и соединения ряда изделий и сооружений должны отвечать требованиям непроницаемости (герметичности) для различных жидкостей и газов. Учитывая это, во многих сварных конструкциях (емкости, трубопроводы, химическая аппаратура и т.д.) сварные швы подвергают контролю на непроницаемость. Этот вид контроля производится после окончания монтажа или изготовления конструкции. Дефекты, выявленные внешним осмотром, устраняются до начала испытаний. Непроницаемость сварных швов контролируют следующими методами, капил-

лярным (керосином), химическим (аммиаком), пузырьковым (воздушным или гидравлическим давлением), вакуумированием или газозлектрическими течеискателями.

*Контроль керосином* основан на физическом явлении капиллярности, которое заключается в способности керосина подниматься по капиллярным ходам – сквозным порам и трещинам. В процессе испытания сварные швы покрываются водным раствором мела с той стороны, которая более доступна для осмотра и выявления дефектов. После высушивания окрашенной поверхности с обратной стороны шов обильно смачивают керосином. **Неплотности** швов выявляют по наличию на меловом покрытии следов проникшего керосина. Появление отдельных пятен указывает на поры и свищи, а появление полос – сквозных трещин и непроваров в шве. Благодаря высокой проникающей способности керосина обнаруживаются дефекты с поперечным размером 0,1 мм и менее.

*Контроль аммиаком* основан на изменении окраски некоторых индикаторов (раствор фенолфталеина, азотнокислой ртути) под воздействием щелочей. В качестве контролирующего реагента применяется газ аммиак. При испытании на одну сторону шва укладывают бумажную ленту, смоченную 5 %-ным раствором индикатора, а с другой стороны шов обрабатывают смесью аммиака с воздухом. Аммиак, проникая через неплотности сварного шва, окрашивает индикатор в местах залегания дефектов).

*Контроль воздушным давлением* (сжатым воздухом или другими газами) подвергают сосуды и трубопроводы, работающие под давлением, а также резервуары, цистерны и т.п. Это испытание проводят с целью проверки общей герметичности сварного изделия. Малогабаритные изделия полностью погружают в ванну с водой, после чего в него подают сжатый воздух под давлением, на 10–20 % превышающим рабочее. Крупногабаритные конструкции после подачи внутреннего давления по сварным швам покрывают пенным индикатором (обычно раствор мыла). О наличии неплотностей в швах судят по появлению пузырьков воздуха. При испытании сжатым воздухом (газами) следует соблюдать правила безопасности.

*Контроль гидравлическим давлением* применяют при проверке прочности и плотности различных сосудов, котлов, паро-, водо- и газопроводов и других сварных конструкций, работающих под избыточным давлением. Перед испытанием сварное изделие полностью герметизируют водонепроницаемыми заглушками. Сварные швы с наружной поверхности тщательно просушивают обдувом воздухом. Затем изделие заполняют водой под избыточным давлением, в 1,5–2 раза превышаю-

щим рабочем, и выдерживают в течение заданного времени. Дефектные места определяют по проявлению течи, капель или увлажнению поверхности швов.

*Вакуумному контролю* подвергают сварные швы, которые невозможно испытать керосином, воздухом или водой и доступ к которым возможен только с одной стороны. Его широко применяют при проверке сварных швов днищ резервуаров, газгольдеров и других листовых конструкций. Сущность метода заключается в создании вакуума на одной стороне контролируемого участка сварного шва и регистрации на этой же стороне шва проникновения воздуха через имеющиеся неплотности. Контроль ведется с **помощью** переносной вакуум-камеры, которую устанавливают на наиболее доступную сторону сварного соединения, предварительно смоченную мыльным раствором (рис. 18.2). В зависимости от формы контролируемого изделия и типа соединения могут применяться плоские, угловые и сферические вакуум-камеры. Для создания вакуума в них применяют специальные вакуум-насосы.

*Люминесцентный контроль и контроль методом красок*, называемый также капиллярной дефектоскопией, проводят с помощью специальных жидкостей, которые наносят на контролируемую поверхность изделия. Эти жидкости, обладающие большой смачивающей способностью, проникают в мельчайшие поверхностные дефекты – трещины, поры, непровары. Люминесцентный контроль основан на свойстве некоторых веществ светиться под действием ультрафиолетового облучения. Перед контролем поверхности шва и околошовной зоны очищают от шлака и загрязнений, на них наносят слой проникающей жидкости, которая затем удаляется, а изделие просушивается. Для обнаружения дефектов поверхность облучают ультрафиолетовым излучением – в местах дефектов следы жидкости обнаруживаются по свечению.

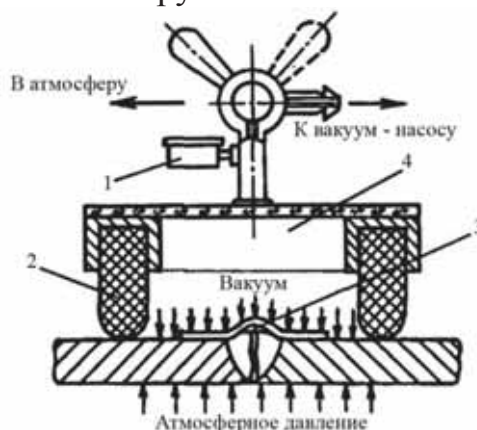


Рис. 18.2. Вакуумный контроль шва: 1 – вакуумметр; 2 – резиновое уплотнение; 3 – мыльный раствор; 4 – камера

*Контроль методом красок* заключается в том, что на очищенную поверхность сварного соединения наносится смачивающая жидкость, которая под действием капиллярных сил проникает в полость дефектов. После ее удаления на поверхность шва наносится белая краска. Выступающие следы жидкости обозначают места расположения дефектов.

*Контроль газозлектрическими течеискателями* применяют для испытания ответственных сварных конструкций, так как такие течеискатели достаточно сложны и дорогостоящи. В качестве газиндикатора в них используется гелий. Обладая высокой проникающей способностью, он может проходить через мельчайшие несплошности в металле и регистрироваться течеискателем. В процессе контроля сварной шов обдувают или внутренний объем изделия заполняют смесью газиндикатора с воздухом. Проникающий через неплотности газ улавливается щупом и анализируется в течеискателе.

Для обнаружения скрытых внутренних дефектов применяют следующие методы контроля.

*Магнитные методы контроля* основаны на обнаружении полей магнитного рассеяния, образующихся в местах дефектов при намагничивании контролируемых изделий. Изделие намагничивают, замыкая им сердечник электромагнита или помещая внутрь соленоида. Требуемый магнитный поток можно создать и пропусканием тока по виткам (3–6 витков) сварочного провода, наматываемого на контролируемую деталь. В зависимости от способа обнаружения потоков рассеяния различают следующие методы магнитного контроля: метод магнитного порошка, индукционный и магнитографический. При методе магнитного порошка на поверхность намагниченного соединения наносят магнитный порошок (окалина, железные опилки) в сухом виде (сухой способ) или суспензию магнитного порошка в жидкости (керосин, мыльный раствор, вода – мокрый способ). Над местом расположения дефекта создадутся скопления порошка в виде правильно ориентированного магнитного спектра. Для облегчения подвижности порошка изделие слегка обстукивают. С помощью магнитного порошка выявляют трещины, невидимые невооруженным глазом, внутренние трещины на глубине не более 15 мм, расслоение металла, а также крупные поры, раковины и шлаковые включения на глубине не более 3–5 мм.

При индукционном методе магнитный поток в изделии наводят электромагнитом переменного тока. Дефекты обнаруживают с помощью искателя, в катушке которого под воздействием поля рассеяния индуцируется Э.Д.С., вызывающая оптический или звуковой сигнал на индикаторе.



При магнитографическом методе (рис. 18.3) поле рассеяния фиксируется на эластичной магнитной ленте, плотно прижатой к поверхности соединения. Запись воспроизводится на магнитографическом дефектоскопе. В результате сравнения контролируемого соединения с эталоном делается вывод о качестве соединения.

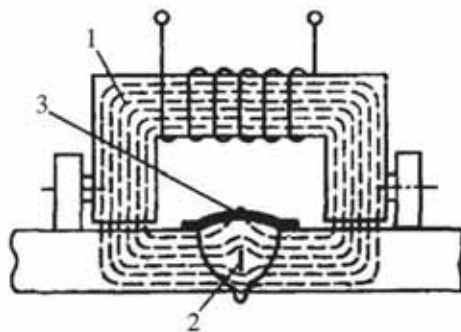


Рис. 18.3. Магнитная запись дефектов на ленту: 1 – подвижный электромагнит; 2 – дефект шва; 3 – магнитная лента

Радиационные методы контроля являются надежным и широко распространенными методами контроля, основанными на способности рентгеновского и гамма-излучения проникать через металл. Выявление дефектов при радиационных методах основано на разном поглощении рентгеновского или гамма-излучения участками металла с дефектами и без них. Сварные соединения просвечивают специальными аппаратами. С одной стороны шва на некотором расстоянии от него помещают источник излучения, с противоположной стороны плотно прижимают кассету с чувствительной фотопленкой (рис. 18.4). При просвечивании лучи проходят через сварное соединение и облучают пленку.

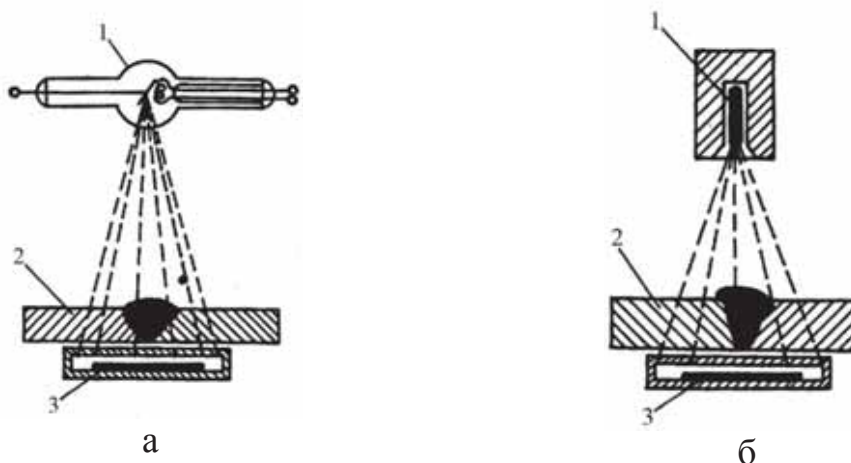


Рис. 18.4. Схема радиационного просвечивания швов: а – рентгеновское; б – гамма – излучение; 1 – источник излучения; 2 – изделие; 3 – чувствительная пленка

В местах, где имеются поры, шлаковые включения, непровары, крупные трещины, на пленке образуются темные пятна. Вид и размер дефектов определяют сравнением пленки с эталонными снимками. Источниками рентгеновского излучения служат специальные аппараты (РУП-150-1, РУП-120-5-1 и др.). Рентгенопросвечиванием целесообразно выявлять дефекты в деталях толщиной до 60 мм. Наряду с рентгенографированием (экспозицией на пленку) применяют и рентгеноскопию, т.е. получение сигнала о дефектах при просвечивании металла на экран с флуоресцирующим покрытием. Имеющиеся дефекты в этом случае рассматривают на экране. Такой способ можно сочетать с телевизионными устройствами и контроль вести на расстоянии.

При просвечивании сварных соединений гамма-излучением источником излучения служат радиоактивные изотопы: кобальт-60, тулий-170, иридий-192 и др. Ампула с радиоактивным изотопом помещается в свинцовый контейнер. Технология выполнения просвечивания подобна рентгеновскому просвечиванию. Гамма-излучение отличается от рентгеновского большей жесткостью и меньшей длиной волны, поэтому оно может проникать в металл на большую глубину. Оно позволяет просвечивать металл толщиной до 300 мм. Недостатками просвечивания гамма-излучением по сравнению с рентгеновским является меньшая чувствительность при просвечивании тонкого металла (менее 50 мм), невозможность регулирования интенсивности излучения, большая опасность гамма-излучения при неосторожном обращении с гамма-аппаратами.

*Ультразвуковой контроль* основан на способности ультразвуковых волн проникать в металл на большую глубину и отражаться от находящихся в нем дефектных участков. В процессе контроля пучок ультразвуковых колебаний от вибрирующей пластинки-щупа (пьезокристалла) вводится в контролируемый шов. При встрече с дефектным участком ультразвуковая волна отражается от него и улавливается другой пластинкой-щупом, которая преобразует ультразвуковые колебания в электрический сигнал (рис. 18.5). Эти колебания после их усиления подаются на экран электронно-лучевой трубки дефектоскопа, которые свидетельствуют о наличии дефектов. По характеру импульсов судят о протяженности дефектов и глубине их залегания. Ультразвуковой контроль можно проводить при одностороннем доступе к сварному шву без снятия усиления и предварительной обработки поверхности шва.

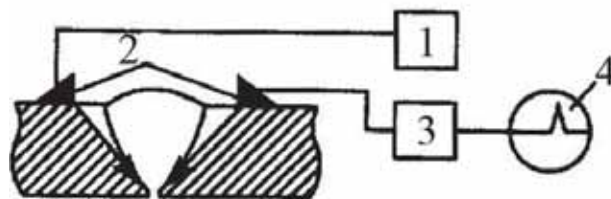


Рис. 18.5. Ультразвуковой контроль швов: 1 – генератор УЗК; 2 – щуп; 3 – усилитель; 4 – экран

Ультразвуковой контроль имеет следующие преимущества: высокая чувствительность (1–2 %), позволяющая обнаруживать, измерять и определять местонахождение дефектов площадью 1–2 мм<sup>2</sup>; большая проникающая способность ультразвуковых волн, позволяющая контролировать детали большой толщины; возможность контроля сварных соединений с односторонним подходом; высокая производительность и отсутствие громоздкого оборудования. Существенным недостатком ультразвукового контроля является сложность установления вида дефекта. Этот метод применяют и как основной вид контроля, и как предварительный с последующим просвечиванием сварных соединений рентгеновским или гамма-излучением.

#### **18.4. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ С РАЗРУШЕНИЕМ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

К этим методам контроля качества сварных соединений относятся механические испытания, металлографические исследования, специальные испытания с целью получения характеристик сварных соединений. Эти испытания проводят на сварных образцах, вырезаемых из изделия или из специально сваренных контрольных соединений – технологических проб, выполненных в соответствии с требованиями и технологией на сварку изделия в условия соответствующих сварке изделия.

Целью испытаний является оценка прочности и надежности сварных соединений и конструкций, оценка качества основного присадочного металла, оценка правильности выбранной технологии, оценка квалификации сварщиков.

Свойства сварного соединения сопоставляют со свойствами основного металла. Результаты считаются неудовлетворительными если они не соответствуют заданному уровню.

Механические испытания проводятся по ГОСТ 6996-66, предусматривающему следующие виды испытаний сварных соединений металла шва: испытание сварного соединения в целом и металла разных его участков (наплавленного металла, зоны термического влияния, основного металла) на статическое растяжение, статистический изгиб, ударный изгиб, стойкость против старения, изменение твердости.

Контрольные образцы для механических испытаний выполняют определенных размеров и формы.

Испытаниями на статическое растяжение определяют прочность сварных соединений. Испытаниями на статический изгиб определяют пластичность соединения по величине угла изгиба до образования первой трещины в растянутой зоне. Испытания на статический изгиб проводят на образцах с продольными и поперечными швами со снятым усилением шва заподлицо с основным металлом. Испытаниями на ударный изгиб, а также разрыв определяют ударную вязкость сварного соединения. По результатам определения твердости судят о структурных изменениях и степени подкалки металла при охлаждении после сварки.

Основной задачей металлографических исследований является установление структуры металла и качества сварного соединения, выявление наличия и характера дефектов. Металлографические исследования включают в себя макро- и микроструктурный методы анализа металлов.

При *макроструктурном* методе изучают макрошлифы и изломы металла невооруженным глазом или с помощью лупы. Макроисследование позволяет определить характер и расположение видимых дефектов в разных зонах сварных соединений.

При *микроструктурном* анализе исследуется структура металла при увеличении в 50–2000 раз с помощью оптических микроскопов. Микроисследование позволяет установить качество металла, в том числе обнаружить пережог металла, наличие оксидов, засоренность металла шва неметаллическими включениями, величину зерен металла, изменение состава его, микроскопические трещины, поры и некоторые другие дефекты структуры. Методика изготовления шлифов для металлографических исследований заключается в вырезке образцов из сварных соединений, шлифовке, полировке и травлении поверхности металла специальными травителями. Металлографические исследования дополняются измерением твердости и при необходимости химическим анализом металла сварных соединений. Специальные испытания проводят с целью получения характеристик сварных соединений, учитывающих условия эксплуатации сварных конструкций: определение коррозионной стойкости для конструкций, работающих в различных агрессивных средах; усталостной прочности при циклических нагружениях; ползучести при эксплуатации в условиях повышенных температур и др.

Применяют также и методы контроля с разрушением изделия. В ходе таких испытаний устанавливают способность конструкций выдерживать заданные расчетные нагрузки и определяют разрушающие нагрузки, т.е. фактический запас прочности. При испытаниях изделий с

разрушением схема нагружения их должна соответствовать условиям работы изделия при эксплуатации. Число изделий, подвергающихся испытаниям с разрушением, устанавливается техническими условиями и зависит от степени их ответственности, системы организации производства и технологической отработанности конструкции.

### **ВОПРОСЫ**

1. Что понимается под качеством изделий?
2. Каковы назначение и организация контроля в производстве сварных конструкций?
3. Назовите виды дефектов в сварных соединениях, причины образования.
4. Назовите методы неразрушающего контроля сварных соединений. Их назначение.
5. Перечислите методы контроля с разрушением сварных соединений. Их назначение.
6. Каким образом можно проверить герметичность сварной тонколистовой емкости?
7. За счет какого физического эффекта происходит выявление дефекта при радиографических методах контроля?

## ГЛАВА 19. СВАРКА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

### 19.1. ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

При низких температурах работоспособность сварных соединений ухудшается: повышается твердость, временное сопротивление, предел текучести и усталости, снижаются пластичность и ударная вязкость.

Показателем работоспособности стали при низкой температуре является **критическая температура хрупкости** – такая температура, при которой наблюдается резкое снижение ударной вязкости. Чем ниже эта температура, тем надежнее работает сталь при низкой температуре. У строителей сталей, применяемых для изготовления несущих конструкций, нормируется величина ударной вязкости при низких температурах. У сталей марок ВСтЗпс и ВСтЗсп ударная вязкость при температуре минус 20 °С должна быть не ниже 29 Дж/см<sup>2</sup>, у низколегированной стали 16ГС такая же величина ударной вязкости 29 Дж/см<sup>2</sup> должна быть при температуре минус 40 °С, а у стали 09Г2С, 15ХСНД и др. – при температуре минус 70 °С. У некоторых сталей, например ВСтЗкп, плохо раскисленной, критическая температура хрупкости не нормируется, так как она наступает от 0 до – 20 °С. Поэтому такую сталь применяют ограниченно для вспомогательных конструкций, работающих на спокойную статическую нагрузку в климатических районах с температурой не ниже минус 30 °С.

Низкие температуры оказывают существенное влияние на процесс сварки. Скорость охлаждения и кристаллизации металла сварочной ванны с понижением температуры сварки повышается, в результате чего увеличивается насыщение металла газовыми и шлаковыми включениями, не успевшими всплыть на поверхность и перейти в шлак.

Повышенный отвод тепла от сварочной ванны и увеличение содержания в ней газов (водорода, кислорода и др.) могут привести к образованию горячих и холодных трещин в сварном соединении. Кроме того, ухудшается проплавление охлажденного металла и увеличивается возможность образования непроваров. На кромках свариваемого металла и на электродах возможна конденсация малозаметной влаги, что также приведет к увеличению содержания водорода в наплавленном металле.

С понижением температуры сталь становится все более чувствительной к концентраторам напряжений; ими могут быть мельчайшие внутренние и внешние дефекты наплавленного металла, которые в условиях отрицательных температур могут привести к образованию трещин. Еще большее влияние на образование трещин могут оказать более

значительные концентраторы напряжений, такие, как резкие изменения сечений элементов сварного соединения, сосредоточение сварных швов, резкие переходы от наплавленного к основному металлу, незаваренные кратеры, прерывистые швы, замкнутые контуры сварных швов и др. В условиях низких температур сварщик должен уделять повышенное внимание правильному ведению процесса сварки.

Для обеспечения работоспособности сварных соединений при низких температурах должна быть выбрана при проектировании и изготовлении сварных строительных конструкций сталь, имеющая достаточно низкий температурный интервал хрупкости. Это правило подбора стали для изготовления конструкций, работающих в различных климатических районах нашей страны, предусмотрено в СНиП П-23-81\* «Стальные конструкции». Нормами установлено, что конструкции, предназначенные для районов с низкой температурой, должны свариваться электродами Э42А, Э46А (низкоуглеродистые стали) и Э46А, Э50А, Э60 и Э70 (низколегированные стали), электродами с покрытием основного типа, обеспечивающими высокую ударную вязкость наплавленного металла при низкой температуре. Большое значение для повышения качества сварных соединений имеет их рациональное конструирование, исключающее замкнутые контуры, близкое расположение швов, резкое изменение сечений (рис. 19.1), применение прерывистых швов, скопление швов и других конструктивных форм, вызывающих концентрацию напряжений.



*Рис. 19.1. Примеры нерациональных конструкций, вызывающих концентрацию напряжений и разрушение при низкой температуре: а – приварка тонкой полосы; б – расстояние между швами (стрелками показана концентрация напряжений)*

Сборка конструкций и их элементов под сварку в условиях отрицательных температур должна выполняться без применения ударов и холодной правки металла. В случае необходимости металл правят с применением подогрева. Кантовать собранные под сварку конструкции следует с большой осторожностью, не допуская ударов при поворачивании.

Особое внимание должно быть уделено очистке кромок, подлежащих сварке, от снега, инея, льда и использованию качественных, хорошо прокаленных электродов. Электроды и сварочную проволоку для аргонодуговой сварки следует хранить в отопляемом складе при температуре не менее 15 °С.

Для сварки следует применять постоянный ток обратной полярности. Особенно необходимо обеспечить хороший провар кромок, не допускать дефектов шва в виде непроваров, пористости, шлаковых включений, резких переходов от основного к наплавленному металлу, поверхностных дефектов – наплывов и вмятин. Зачищать корень шва перед подваркой и удалять дефектные места следует вышлифовкой или воздушно-дуговой и кислородной выплавкой, не допуская применения вырубки зубилом во избежание образования трещин. Наиболее действенной мерой, предупреждающей образование дефектов при сварке на морозе, является предварительный подогрев. СНиП 3.03.01–87 «Несущие и ограждающие конструкции» установил порядок его применения. В конструкциях, возводимых или эксплуатируемых при температуре ниже минус 40 °С, удаление дефектных мест и расчистка корня шва вышлифовкой или выплавкой разрешаются только после подогрева сварного соединения до температуры 120–160 °С. В таблице 19.1 указаны температуры, при которых сварка возможна для различного вида конструкций, сталей и толщины элементов. При более низких температурах (для ручной и механизированной сварки) необходим предварительный подогрев стали до 120–160 °С в зоне шириной 100 мм с каждой стороны соединения.

Электрошлаковая сварка из-за большого тепловложения выполняется без подогрева при температуре до 65 °С. Автоматизированную дуговую сварку под флюсом при толщине металла до 30 мм из углеродистой стали и 20 мм из низколегированной разрешается выполнять без подогрева при температуре соответственно 30 и 20 °С, а при большей толщине – при температуре соответственно 20 и 10 °С. При более низких температурах назначается подогрев перед сваркой до 120–160 °С. СНиП устанавливает ограничения при сварке рабочей арматуры железобетонных конструкций: при отрицательной температуре требуется предварительный подогрев стержней до 200–250 °С на длину 90–150 мм от стыка. Подогрев осуществляют газовым пламенем после закрепления на стыках инвентарных форм, стальных изогнутых или круглых накладок. Сварочный ток увеличивают по сравнению с расчетным на 1 % при понижении температуры на каждые 3 °С от 0 °С. Сварка допускается до температуры не ниже 30 °С, а при более низкой температуре (до –50 °С) нужна специальная технология (сварка в тепляке и др.). При ван-



ной сварке скорость охлаждения выполненных стыков необходимо снижать путем обмотки их асбестом. Асбест и инвентарные формы можно снимать только после остывания шва до 100 °С и ниже.

Таблица 19.1

*Минимальная допустимая температура окружающего воздуха при сварке без подогрева*

Толщина свариваемых элементов, мм	Элементы				
	решетчатые	листовые, объемные, сплошностенчатые	решетчатые	листовые, объемные, сплошностенчатые	решетчатые и листовые
	углеродистой		низколегированной с пределом текучести, МПа		
		≤390	>390		
До 16	-30	-30	-20	-20	-15
Св. 16 до 25	-	-	-	-	0
Св. 25 до 30	-30	-20	-10	0	При толщине более 25 мм предварительный местный подогрев производится независимо от температуры окружающего воздуха
Св. 30 до 40	-10	-10	0	5	
Св. 40	0	0	5	10	

Стыки технологических трубопроводов, работающих под высоким давлением (до 9,81 МПа), также требуется подогревать при сварке покрытыми электродами и даже прихватке их в условиях отрицательных температур окружающего воздуха (< 0 °С). Отраслевым стандартом ММСС установлены отрицательные температуры, при которых требуется подогрев для трубопроводов из стали различных марок и толщин. Трубопроводы из низкоуглеродистой, марганцовистой и кермнемарганцовистых сталей при толщине стенки до 16 мм можно сваривать без подогрева при температуре от 0 до 35 °С, а при толщине стенки более 16 мм и той же низкой температуре требуется предварительный подогрев до 100–150 °С. Установлены температуры подогрева при сварке в условиях низких температур стыков из низколегированных, легированных и высоколегированных сталей.

При ручной аргонодуговой сварке трубопроводов в условиях низких температур должны выполняться такие же требования предварительного подогрева, как при сварке покрытыми электродами.

Некоторые металлы, например алюминий, медь и др., а также хромоникелевые аустенитные стали типа 08X18H10T хорошо работают при самых низких отрицательных температурах, так как критический температурный интервал хрупкости у них практически отсутствует или чрезвычайно низок. Эти металлы могут свариваться при низких температурах без подогрева.

## 19.2. СВАРКА ПОД ВОДОЙ

Сварку под водой применяют при строительстве гидротехнических сооружений, подводной части портовых нефтепромысловых, трубопроводных, судовых и других специальных конструкций. Подводную сварку выполняют двумя способами:

- непосредственным плавлением в воде электродного и основного металла с образованием сварного соединения;
- сваркой под водой в специальных камерах без контакта сварного соединения с водой.

При первом способе работу выполняют обученные методам подводной сварки водолазы, а при втором – сварщики, обученные методам работы в кессоне, под давлением воздуха или кислородно-гелиевой дыхательной смеси.

Первый способ наиболее простой, дешевый и не требует специально подготовленных камер с соответствующим оборудованием. Подводная сварка по этому способу основана на способности дуги устойчиво гореть в газовом пузыре, образующемся в воде за счет ее испарения и разложения теплом дуги, а также за счет паров и газов, выделяющихся при расплавлении металла и покрытия электродов.

Непрерывное выделение газов и мельчайших частиц при горении дуги повышает давление газового пузыря, который выделяет много пузырьков газа (рис. 19.2), периодически отделяется и вновь немедленно образуется.

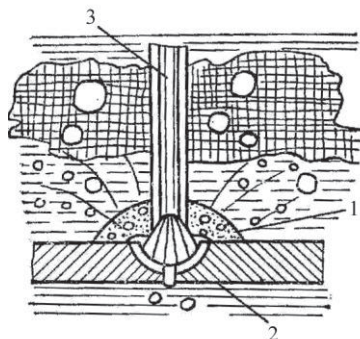


Рис. 19.2. Сварка под водой: 1 – газовый пузырь окружающий дугу; 2 – изделие; 3 – электрод

Продукты сгорания металла и обмазки образуют облако бурого раствора, которое затрудняет видимость. Процесс сварки под водой затруднен вследствие давления и течения воды, плохой видимости, стесненности движений сварщика-водолаза, облаченного в специальный костюм.

Для подводной сварки применяют электроды с увеличенной толщиной покрытия  $D_{\text{Э}} / d_{\text{ст}} > 1,8$ . Водонепроницаемость обеспечивается нанесением на поверхность покрытых электродов нитролака, раствора целлулоида в ацетоне, парафина или других изолирующих материалов. Для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей применяют электроды марки ЭПС-52 УОНИИ-13/45П, ЭПС-5 и др. диаметром 4–6 мм с покрытиями, содержащими значительный процент ферросплавов, а также ионизирующие и шлакообразующие компоненты. Ферросплавы необходимы для раскисления расплавленного металла и его легирования, так как дуга разлагает воду на водород и кислород, который окисляет железо, углерод, марганец и другие элементы, содержащиеся в основном и электродном металле. Несмотря на защиту, в металле шва, выполненного покрытыми электродами, снижается содержание углерода, марганца и др., а содержание водорода резко растет. Вследствие этого, а также интенсивного охлаждения сварного соединения окружающей водой пластичность и вязкость шва невысокие,  $\delta_5=4-6\%$ ,  $KCU=10-25 \text{ Дж/см}^2$ , угол загиба  $25-35^\circ$ , временное сопротивление до 400–550 МПа.

Сварку выполняют опиранием в нижнем и вертикальном положениях, при этом предпочтительно сваривать угловые (тавровые и нахлесточные) швы, которые в условиях плохой видимости обеспечивают опирание электрода и могут достаточно хорошо формироваться. Ток применяют постоянный прямой полярности, увеличенный на 15–20 % по сравнению со сваркой на воздухе. С увеличением глубины дуга горит устойчиво, но ток и напряжение растут. Для подводной сварки применяют источники питания, имеющие высокое напряжение холостого хода и одновременно обеспечивающие безопасность сварщика. Этим требованиям отвечают агрегаты ПАС-400-IV, ПАС-400-VIII и др., имеющие ограничители напряжения холостого хода до величины, безопасной для сварщика. Применяемые для подводной сварки электрододержатели, электрические кабели (прямой и обратный) должны иметь надежную изоляцию.

При сварке в специальных кессонах или камерах ввиду отсутствия контакта сварного соединения с водой качество швов не отличается от швов, выполненных на воздухе.

## ВОПРОСЫ

1. Что называется критической температурой хрупкости?
2. При работе в условиях Крайнего Севера какую сталь можно применять?
3. Для сварки на холоде какие электроды можно применять?
4. Нужен ли подогрев при сварке стыка из стали 15ХСНД толщиной 20 мм, если температура воздуха  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

## **ГЛАВА 20. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА, МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **20.1. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЕЕ ОТРАБОТКА**

Технические преимущества сварных конструкций по сравнению с конструкциями, изготовленными с использованием других методов получения неразъемных соединений, обеспечили им широкое распространение в различных отраслях машиностроения. Однако они обладают и рядом отрицательных особенностей, которые необходимо учитывать как при проектировании, так и при производстве. Надо отметить существенное воздействие технологии обработки на исходные свойства материала, наличие в них напряженного состояния и деформаций, связанных со сваркой, неоднородность свойств материала в зоне сварных соединений и др. Эти особенности оказывают существенное влияние на характер распределения напряжений в сварных конструкциях в зависимости от прикладываемых нагрузений и сопротивляемости их эксплуатационным воздействиям, в конечном счете влияя на надежность и долговечность изделий.

В настоящее время при конструировании изделий все больше внимания уделяют вопросам технологичности. Начиная со стадии эскизного проектирования и изготовления опытных образцов, изделия подвергаются тщательной технологической отработке. При решении вопроса о серийном изготовлении новой конструкции учитывается заключение о ее технологичности, т.е. насколько она позволяет применять наиболее прогрессивные формы и способы производства. Технологическая отработка конструкций в процессе их проектирования дает возможность не только своевременно решить вопросы повышения технологичности, она позволяет также заблаговременно определить те требования, которые новое изделие предъявляет к серийному производству.

Прогрессивность сварных конструкций характеризуется возможностью уменьшения их металлоемкости при обеспечении требуемых эксплуатационных качеств, более полным использованием свойств материалов. В связи с этим в теории и практике отечественного проектирования сварных металлоконструкций логически объединяются два направления: поиск путей проектирования конструкций с минимальной массой и меньшей металлоемкостью, внедрение и использование наиболее прогрессивных технологических процессов. Эти две главные линии во многом определяют развитие сварочного производства. Создание наиболее экономичных сварных конструкций требует комплексного конструктивно-технологического проектирования, при котором вопросы

конструкторского плана решаются одновременно с вопросами технологии и трудоемкости, а обеспечение высокой работоспособности конструкций достигается конструктивными и технологическими мерами. Проектирование невозможно без учета особенностей технологии, а в современной практике проектно-конструкторских работ одним из важнейших моментов становится соблюдение принципов технологичности конструкций. Нельзя эффективно использовать передовую технологию, когда конструкция разработана без учета технологичности.

Технологичной считается конструкция, обеспечивающая наиболее простое, быстрое и экономичное изготовление при обязательном соблюдении необходимых условий прочности, устойчивости, выносливости и других эксплуатационных качеств, т.е. в которой соблюдается соответствие прогрессивных конструктивных решений передовым технологическим возможностям производства. Отсюда понятие «технологичность конструкции» представляется как довольно сложная характеристика (свойство), определяемая комплексом прогрессивных конструктивных и технологических решений, позволяющих при обеспечении всех необходимых эксплуатационных качеств изделия добиться в процессе изготовления высоких производственных показателей – снижения металлоемкости, быстрого освоения в производстве, минимальной трудоемкости и себестоимости.

Отработка технологичности конструкций является непрерывным процессом, начинающимся с эскизного проекта изделия продолжающимся на всех стадиях проектирования и изготовления как его опытных образцов, так и серийной продукции. Содержание работ по отработке технологичности конструкций зависит от стадии разработки технической документации. Основные принципиальные положения, определяющие направленность отработки технологичности конструкций, закладываются уже в период разработки эскизного и технического проектов изделия. Установлено, что на этом этапе достигается до 70 % и более общего уровня технологичности конструкций. Отработка при этом идет за счет выбора наиболее оптимальных конструктивных решений, расчленения конструкции на основные сборочные единицы, разработки оптимальных схем сборки и сварки, обоснованного назначения точности изготовления и технологических мер ее достижения, выбора материала и важнейших методов обработки и т.п. Таким образом, принципиальные вопросы изготовления сварной конструкции решаются уже на первом этапе ее проектирования. Второй этап технологической отработки совпадает с разработкой рабочего проекта и изготовлением опытных образцов. При этом отрабатывается до 20–25 % всего эффекта технологичности. На этапе рабочего проектирования производится деталь-

ная технологическая проработка принятого ранее варианта конструкции. Производится выбор рациональных заготовок и способов их получения, определяются меры по обеспечению требований технологичности при обработке различными способами, выбираются конструктивные и технологические базы, обеспечивается удобство подходов к местам соединений, нормализация материалов, полуфабрикатов, параметров соединений и т.д. Детально прорабатывается конструктивное оформление всех сварных соединений с указанием характера обработки кромок, допусков на размеры и припусков на обработку после сварки. Для достижения точности и сохранения размеров конструкций после сварки предусматривают технологические мероприятия по предотвращению и устранению сварочных напряжений и деформаций. Эти вопросы, также прорабатываются на стадии рабочего проектирования как с целью обоснования выбора величин допусков на размеры заготовок, припусков на последующую механическую обработку сварного изделия, так и с целью определения рациональности применения операций термообработки. По окончании рабочего проектирования и изготовления опытных образцов должна завершаться и отработка технологичности конструкций. На дальнейших этапах создания и освоения выпуска изделий отработка технологичности, как правило, не превышает 5–10 % от общего уровня.

При создании конструкций и отработке их технологичности необходимо учитывать ряд общих условий.

1. Технологичность конструкций в значительной степени зависит от масштаба выпуска и вида производства. Конструкция, технологичная для одного масштаба выпуска, может оказаться нетехнологичной для другого.

2. Технологичность отдельных элементов конструкции должна рассматриваться и увязываться с технологичностью изделия в целом. Повышение технологичности отдельных элементов может вызвать изменения, которые в итоге ухудшают обработку всей конструкции или приведут к снижению ее характеристик.

3. Отработку технологичности конструкций необходимо рассматривать как комплексную задачу, учитывающую требования ко всем стадиям производственного процесса, начиная от изготовления деталей и кончая сборкой, сваркой и испытанием готовых изделий.

4. При отработке технологичности конструкций необходимо исходить, в первую очередь, из учета передового опыта и наиболее высокого технического уровня, достигнутого в данной отрасли производства. При этом необходимо учитывать и специфику данного предприятия-

изготовителя, его технико-организационные особенности, оснащенность, освоенность различных процессов и оборудования и т.п.

Технологическая обработка сварных конструкций предусматривает обеспечение выполнения требований технологичности, предъявляемых к выбору и назначению характера конструкций и металла для ее изготовления, способов сварки и характеристик сварных соединений, точности изготовления и способов устранения или уменьшения деформаций и сварочных напряжений. В связи с этим можно наметить ряд вопросов, требующих в первую очередь решения при создании технологичных сварных конструкций.

1. Выбор и применение наиболее современных методик расчета и проектирования сварных конструкций, в наибольшей мере учитывающих их особенности и воздействие технологических факторов. Поэтому при создании новых изделий необходимо исходить из принципов конструктивно-технологического проектирования с применением уточненных методик расчетов прочности и устойчивости элементов, а также расчетных методов оценки точности и технологичности сварных конструкций.

2. Выбор оптимальных вариантов расчленения конструкций на сборочные единицы и назначение схем собираемости их, от которых во многом зависят упрощение технологического процесса, расширение фронта работ и эффективное использование средств механизации и автоматизации.

3. Правильный выбор материала – один из важнейших вопросов проектирования и технологической обработки, поскольку оказывает непосредственное влияние на технические характеристики, массу и экономичность конструкций. При этом необходимо учитывать, что в сочетании с требованиями, предъявляемыми условиями эксплуатации, требование высокой свариваемости определяют практическую пригодность материала для сварных конструкций. Свойства материала должны удовлетворять требованиям эксплуатации, обеспечивать необходимую свариваемость, технологическую обрабатываемость и экономическую целесообразность.

4. Важной задачей является правильный выбор способа получения соединений в соответствии с назначением, формой и размерами конструкций. Назначение способа сварки в значительной степени определяется свариваемостью, конструктивным оформлением изготавливаемых узлов, степенью их ответственности и производительностью процесса. К тому же необходимо учитывать определенный тип соединений, присадочный материал, приемы и обеспечение удобства выполнения сборочно-сварочных операций. Эти условия предопределяют механические



свойства соединений и значения допускаемых напряжений, необходимых для прочностных расчетов конструкций. Поэтому назначение способа сварки производится уже на первой стадии разработки изделия. Оптимальность этого выбора в значительной степени зависит от правильности учета состояния сварочного производства и тенденций его развития.

5. Правильное назначение типа и параметров сварных соединений в зависимости от особенностей конструкции и характера испытываемых нагрузений – один из важных вопросов технологичности. Качество сварных соединений и трудоемкость их выполнения в значительной степени зависят от проектных решений, определяющих тип присадочного материала, сечение швов и расчетный объем наплавленного металла, положение сварных швов в пространстве при выполнении сварочных работ, доступность и удобство выполнения сварки и т.п. Поэтому при выборе типа конструкции сварных соединений намечаемые конструктивные решения необходимо оценивать не только с позиций прочности, но и с позиций технологичности. При назначении сварных соединений нужно учитывать возможность выполнения их с максимальным использованием автоматизированных способов сварки, число и размеры сварных швов должны быть минимальными и строго обоснованы расчетами и техническими условиями. В конструкциях необходимо использовать наиболее работоспособные и удобно выполнимые типы соединений, стремиться к сокращению их числа и уменьшению сечений. Расположение соединений в конструкциях должно уменьшать или предотвращать появление сварочных деформаций, а параметры соединений должны быть максимально унифицированы, форма швов простая, хорошо поддающаяся описанию и выполнению автоматической сваркой. Исключительно важным требованием является сокращение объема расплавляемого, а особенно наплавленного металла. На этапе проектирования завышение объема может быть вызвано несовершенством используемых методик и норм расчета, стандартов и других руководящих материалов, регламентирующих параметры сварных соединений и швов; несоблюдение в проектировании принципа минимизации наплавленного металла в конструкции; недостаточным использованием прогрессивных конструктивных решений, требующих минимальных протяженности швов и объема наплавленного металла; ограниченностью применения в конструкциях материалов с улучшенными свойствами; недостаточным использованием сварочных процессов, обеспечивающих более высокие механические характеристики соединений.

При изготовлении сварных конструкций перерасходу наплавленного металла способствуют отклонения от строгого соблюдения предписа-

ний технической документации и инструкций в отношении точности и качества выполнения заготовительных, сборочных и сварочных работ, несовершенство принятых в технологическом процессе методов и оборудования обработки, недостаточная точность заготовок, обуславливающая необходимость назначения излишних припусков и проведения ручных работ по подгонке элементов.

Комплексное решение вопросов прочности, точности, технологичности и экономичности позволяет создавать наиболее рациональные сварные конструкции с наименьшими затратами материалов, времени и труда на их изготовление.

## **20.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Под технологическим процессом в машиностроении понимают последовательные действия по изменению формы или состояния материала в целях получения изделия определенного вида или качества.

Основная цель проектирования технологического процесса – разработка такого способа изготовления заданного изделия, который бы являлся наиболее рациональным не только технически, но и экономически при правильном и полном использовании всех технических возможностей оборудования и оснастки на наиболее выгодных режимах при минимальных затратах времени, рабочей силы, вспомогательных материалов.

В разработке технологического процесса можно выделить два этапа. Первый целесообразно отнести к стадии проектирования самой конструкции. В ходе технологической отработки конструкции разрабатывают основные принципиальные решения по ее изготовлению, которые в дальнейшем и определяют основные направления в разработке рабочих технологических процессов. Оформленные в виде специальных технологических документов, эти положения являются своеобразными «вехами» будущего серийного технологического процесса, называемыми директивными технологическими материалами (ДТМ) или директивной технологией (ДТ).

По таким материалам нельзя изготовить изделие, поскольку в них приводятся лишь основные принципиальные решения по технологии. Однако разработка таких материалов позволяет обеспечить наиболее высокий технический уровень производства. В процессе разработки ДТМ решают вопросы выбора наиболее технологичных с позиций сварки конструктивных решений, схемы технологического расчленения конструкций и их собираемости, определяют характер соединений по технологическим разъемам и методы их выполнения, разрабатывают техни-

ческие условия и задания на проектирование специального оборудования и технологической оснастки, выбирают методы, средства наиболее объективного контроля и т.д. ДТМ разрабатываются на базе наиболее прогрессивных технологических процессов и оборудования.

С другой стороны, ДТМ дают возможность серийным предприятиям значительно сократить и упростить работы по подготовке производства и освоению изделия, заранее определить трудоемкость всех этапов производственного процесса, технологическую оснащенность, необходимость и объем реконструкции предприятия.

По окончании проектирования изделия на основе рабочего проекта и ДТМ проводится второй этап – разрабатывается рабочий технологический процесс и создается необходимое специальное оборудование, технологическая и контрольная оснастка.

Разработка рабочей технологии ведется в строгом соответствии с рабочим проектом конструкции. Это накладывает на работу технологов определенные ограничения в связи с принятыми в проекте конструктивными решениями. В этих условиях ДТМ придается исключительно большое значение. Разработка рабочей технологии, в свою очередь, выполняется в две стадии. На первой стадии устанавливают полный перечень всех необходимых операций и их рациональную последовательность (маршрут), выбирают способы обработки по операциям, технологическое оборудование, режимы обработки и технологическую оснастку, проводят нормирование операций и определяют их трудоемкость. Полученные данные представляются в виде технического документа – маршрутной технологии (табл. 20.1).

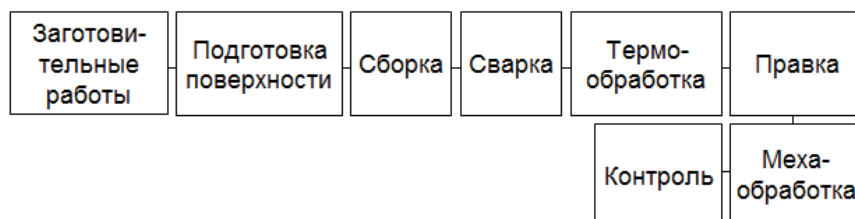
На второй стадии производится детализация ранее выполненных разработок, степень и полнота которой зависят от типа производства. В большей степени детализируют технологический процесс в серийном и массовом видах производства. Операции разбивают на более мелкие действия – переходы с указанием разрядов работающих, фондов времени, мер техники безопасности и т.п. Каждая из операций маршрутной технологии оформляется в виде отдельного технического документа – операционной технологической карты. В малопрограммных видах производства (единичном и мелкосерийном) такие карты обычно не оформляют, детализируют непосредственно маршрутную технологию. При разработке серийной технологии изготовления большое значение имеет использование типовых технологических процессов – обобщенных для групп элементов с общностью конструктивных технологических признаков.

Таблица 20.1

*Маршрутная технологическая карта на изготовление обечайки корпуса емкости из алюминиевого сплава*

Наименование операции, метод обработки	Оборудование, оснастка	Режимы, вспомогательный материал	Квалификации и разряд	Норма времени, мин
1	2	3	4	5
Зачистить кромки продольного стыка обечайки (деталь 2) Механическая зачистка	Металлическая щетка		Слесарь 2-го разряда	6
Собрать продольный стык обечайки (деталь 2) в приспособлении	Сборочное приспособление		Слесарь сборщик 4-го разряда	8
Прихватить продольный стык детали 2 ручной АрДЭС вольфрамовым электродом	Установка АрДЭС	Длина швов 10 мм, шаг 100мм	Сварщик 4-го разряда	3
Сварить продольный стык детали 2 автоматом АрДЭС вольфрамовым электродом с присадкой. Контроль шва визуально	АДСВ-6, ИСВУ-400, сварочное приспособление	$I_{СВ}=110А$ , $U=12В$ , $V_{СВ}=18-20 м/ч$ присадка: АМг6, диам. 1,6	Сварщик 5-го разряда	15
Калибровать детали 2 по диаметру обтяжкой на разжимном пуансоне	Пресс ПКД		Слесарь 3-го разряда	8
Торцевать деталь 2 по длине в размер. Токарная обработка	Токарный станок с жесткой оправкой		Токарь 4-го разряда	15

На рисунке 20.1 приведена обобщенная схема технологического процесса изготовления сварных конструкций с указанием его основных этапов.



*Рис. 20.1. Схема технологического процесса*

При изготовлении сварных узлов машиностроительных конструкций производство часто отличается сложностью и многообразием цеховых маршрутов. Это связано с наличием большого числа разнообразных технологических методов обработки, применяемых при изготовлении деталей того или иного изделия. Последнее вытекает из высоких требований, предъявляемых к качеству выпускаемой продукции, часто весьма сложной конструкции, а также многообразия марок применяемых материалов. В связи с этим технологическая отработка изделия и процесса его изготовления имеет большое значение при подготовке производства того или иного объекта и сказывается на качестве и сроках освоения нового производства и себестоимости продукции. Поэтому вопросам разработки технологических процессов необходимо уделять самое серьезное внимание в период подготовки объекта к запуску в производство.

### **20.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА**

От технологического процесса производства сварных конструкций требуется обеспечение возможности сокращения сроков его освоения и снижения производственных затрат при одновременном достижении высокой производительности, качества и надежности выпускаемых изделий.

Успешное решение данной проблемы в значительной степени определяется оснащенностью сварочного производства, причем выбор варианта оснащения в каждом конкретном случае должен учитывать не только техническую возможность выполнения запроектированных операций с соблюдением предъявляемых требований, но и технико-экономическую оптимальность.

Средства технического оснащения технологических процессов обычно разделяют на две группы.

К первой группе относятся технические средства, обеспечивающие общую возможность выполнения технологических операций запроектированными методами обработки (штамповка, сварка, механообработка и т.п.). Эта группа технических средств получила название основного технологического оборудования. К ней относятся дуговые сварочные автоматы, источники питания дуги, сварочные машины и т.п.

Ко второй группе относятся технические средства оснащения, призванные облегчить изготовление или создать благоприятные условия для выполнения технологических операций с использованием основного технологического оборудования применительно к конкретным особенностям обрабатываемых изделий. Подобные средства оснащения называют **технологической оснасткой**. Сварочное оборудование выпуска-

кается специализированными предприятиями. В большинстве случаев оно обладает большой степенью универсальности и предназначено для осуществления непосредственно самого сварочного процесса без конкретизации относительно того или иного обрабатываемого изделия. Однако, исходя из конструктивно-технологических особенностей изготавливаемых конструкций, для выполнения соединений той или иной формы требуется закрепление изделия в определенных положениях, перемещение или поворачивание их в процессе сварки. Осуществляется это за счет применения технологической оснастки, представляемой в виде приспособлений для закрепления и перемещения свариваемых конструкций. Такие приспособления позволяют не только облегчить выполнение соединений, но и уменьшить возникающие деформации, повысить производительность, обеспечить безопасные условия работы. Наконец, как правило, сварка неразрывно связана с проведением сборки соединяемых деталей. Поэтому необходимы приспособления для сборочных работ, обеспечивающие выполнение заданных технических условий, предъявляемых с позиций качественного изготовления сварных соединений, достижения проектных параметров конструкций. Весь отмеченный комплекс технических устройств рассматривается как сборочно-сварочная оснастка или приспособления. Значение сборочно-сварочной оснастки при изготовлении сварных конструкций исключительно велико. Ее применение во многом обуславливает не только получение высококачественных изделий, но и достижение высоких производственных показателей. Поэтому правильность выбора и разработка сборочно-сварочной оснастки являются одним из главных вопросов технологической подготовки сварочного производства в целом.

В общем балансе средств производства специальное технологическое оснащение занимает важнейшее место и располагается вслед за технологическим оборудованием. Но если парк оборудования с изменением конструкции изделия при технологической подготовке изменяется незначительно, то технологическая оснастка обычно подвергается радикальным изменениям, даже полной замене. Поэтому затраты на ее создание составляют важнейшую часть расходов по технологической подготовке. Так, в авиационной промышленности трудоемкость проектирования и изготовления технологического оснащения достигает 60–80 % от общей трудоемкости технологической подготовки серийного производства, а по времени изготовления – до 90 % всего цикла подготовки. Поэтому снижение трудоемкости и сроков создания оснастки является одним из основных резервов сокращения затрат на подготовку производства. Значительный эффект дает нормализация оснастки, основанная

на использовании унифицированных и стандартизованных деталей и узлов.

**Классификация сборочно-сварочной оснастки.** Сборочно-сварочная оснастка по удельному весу в общем оснащении технологических процессов современного сварочного производства, как правило, занимает ведущее место. Ее характер определяется многими факторами, в первую очередь конструктивно-технологическими особенностями изготавливаемых конструкций; с другой стороны, степень оснащенности технологических процессов в значительной степени зависит от вида производства. Наиболее оснащены технологические процессы при массовом и крупносерийном производстве и менее – при единичном и мелкосерийном. Это объясняется в основном экономическими соображениями. Номенклатура применяемой сборочно-сварочной оснастки исключительно широка и многообразна. Однако по ряду признаков она может быть классифицирована по группам, различающимся по своим конструктивным особенностям и технологическим возможностям.

По функциональному назначению и задачам, выполняемым в технологическом процессе, сборочно-сварочная оснастка разделяется на сборочные, сварочные и сборочно-сварочные приспособления.

Сборочные приспособления предназначены для осуществления сборки изготавливаемых конструкций из отдельных деталей или узлов с обеспечением требуемых технических условий с закреплением их с помощью прихватки или съемных фиксаторов.

Сварочные приспособления обеспечивают выполнение непосредственно сварочных операций при получении сварных соединений того или иного вида. В такие приспособления конструкции устанавливаются в собранном, предварительно закрепленном состоянии. В этом случае в технологическом процессе необходимо сочетание сборочных и сварочных приспособлений.

В сборочно-сварочных приспособлениях может производиться сборка и сварка конструкций с одной установки. При этом в большинстве случаев удается исключить необходимость применения прихватки.

В зависимости от вида производства, степени и широты применения приспособления подразделяют на универсальные, специализированные и специальные. Универсальные приспособления могут быть использованы для выполнения операций, соответствующих их функциональному назначению, применительно к широкому кругу обрабатываемых конструкций, различающихся по своим конструктивно-технологическим характеристикам. С повышением степени специализации приспособлений широта применяемости их резко уменьшается. Так, специализированные приспособления используются для обработки

лишь определенной группы однотипных изделий, обладающих общностью конструктивно-технологических признаков и различающихся по типоразмерам. Еще в большей степени ограничивается область использования специальных приспособлений, предназначенных для обработки лишь определенного вида изделий. Однако с увеличением специализации приспособлений, как правило, возрастает их точность и производительность. Поэтому такие приспособления обычно используют при оснащении крупнопрограммных видов производства. В зависимости от характера работы и способа приведения в действие приспособления разделяют на: ручные, механизированные и автоматизированные (или автоматические).

Ручные приспособления для работы требуют затрат ручного труда и приводятся в действие за счет усилий работающего. Механизированные приспособления приводятся в действие за счет использования какого-либо вида энергии (сжатого воздуха, жидкости, электрической энергии). Автоматическими считаются приспособления, в которых не только приведение в действие, но и управление производится за счет какого-либо вида энергии помимо усилий работающего. В этом случае затраты труда человека необходимы лишь на настройку и запуск в работу. Приспособления также могут быть быстродействующими с минимальной затратой вспомогательного времени, одно- и многопозиционными. В зависимости от габаритов и веса изделий приспособления могут быть переносными или стационарными, а также неподвижными, перемещающимися или поворотными в процессе работы.

**Назначение и особенности сборочно-сварочной оснастки.** Использование сборочно-сварочной оснастки в технологическом процессе изготовления сварных конструкций предусматривает решения целого ряда задач. Основные из них – обеспечение условий качественного выполнения сварных соединений и изготовления конструкций с заданными техническими параметрами и достижение взаимозаменяемости, упрощение технологии сборки и сварки, снижение трудоемкости и повышение производительности сборочно-сварочных работ, предотвращение или уменьшение сварочных деформаций.

Использование сборочно-сварочной оснастки позволяет расширять технологические возможности сварочного оборудования, обеспечивать условия стабилизации качества выполняемых работ. Применение сборочно-сварочной оснастки является необходимым условием повышения общего уровня механизации и автоматизации сварочного производства. Сборочно-сварочные приспособления могут входить в состав сварочных установок, встраиваться в поточные механизированные и автоматизированные линии, причем за счет технологической оснастки открывается



возможность механизировать и автоматизировать как основные, так и вспомогательные операции технологических процессов. С другой стороны, использование сборочно-сварочной оснастки предусматривает решение вопросов социального характера в сварочном производстве. Применение совершенных приспособлений позволяет исключить или резко уменьшить необходимость использования тяжелого или малопродуктивного труда, в большей степени обеспечить условия безопасности для работающих. Таким образом, широкое применение сборочно-сварочной оснастки является важным фактором научно-технического прогресса сварочного производства, позволяющего комплексно решать не только сложные технико-экономические вопросы, но и вопросы социально-общественного значения. Анализируя характер сборочно-сварочной оснастки, необходимо отметить, что она обладает рядом особенностей, отличающих ее от оснастки, обычно применяемой при других технологических процессах, связанных с обработкой и изготовлением конструкций в машиностроении. Так, в приспособлениях для механической обработки обычно закрепляют отдельные обрабатываемые детали или узлы из нескольких деталей, предварительно соединенных друг с другом. Изделие же под сварку собирают обычно из значительного числа различных деталей, установка которых в приспособлениях ведется последовательно, а фиксирование и закрепление их чаще всего осуществляются независимо друг от друга.

В приспособлениях для механической обработки крепление изделий должно обеспечить их полную неподвижность в процессе обработки. В сварочном приспособлении свободное перемещение отдельных свариваемых деталей за счет изменения их размеров в процесс нагрева и остывания при сварке часто является необходимым. В связи с этим в них часто применяют комбинированную сборку деталей, предусматривающую жесткое фиксирование одних деталей в сочетании со свободной установкой других, обеспечивающей возможность изменения их размера при нагреве и охлаждении.

Сварочные приспособления в отличие от приспособлений для механической обработки, как правило, не испытывают в работе каких-либо значительных усилий от процесса обработки (сварки) помимо действия веса самого установленного изделия. С другой стороны, они подвержены часто воздействию высоких температур при прихватке или сварке. В связи с этим в таких приспособлениях необходимо предусматривать меры для уменьшения деформирования конструкций, развивающегося вследствие температурных воздействий. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо тщательно анализировать условия выполнения сборочно-сварочных операций, выявлять особенности их взаимо-

связи с приспособлениями и обязательно учитывать при разработке сборочно-сварочной оснастки.

#### **20.4. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Под механизацией производственного процесса понимают оснащение его техническими средствами, обеспечивающими замену в нем ручного труда работой машин и механизмов. При механизированном исполнении технологических операций человек выполняет лишь некоторые вспомогательные действия и управляет средствами механизации. Высшей степенью механизации является автоматизация производственного процесса. Автоматизация предусматривает освобождение человека от ручного выполнения любых действий в технологическом процессе и непосредственного его управления автоматическими средствами оснащения. В этом случае обслуживающий персонал выполняет функции наладки и наблюдения за правильностью работы технических средств оснащения.

Механизация и автоматизация существенно различаются по своему содержанию, но в то же время имеют тесную взаимосвязь. Автоматизировать можно только высокомеханизированный процесс. Поэтому автоматизация и рассматривается как высшая степень механизации.

Механизация и автоматизация может быть частичной и комплексной. Частичная механизация и автоматизация охватывает часть производственного процесса, т.е. в этом случае речь идет об отдельных операциях. При комплексном решении весь производственный процесс выполняется с помощью машин и механизмов, установленных в порядке последовательности выполнения операций в соответствии с технологическим маршрутом. В сварочном производстве механизация и автоматизация достигаются за счет применения различных приспособлений, специальных сварочных установок, использования робототехники, создания поточных механизированных и автоматизированных линий, на которых механизированными способами осуществляются работы по заготовке сборке, сварке и транспортировке сварных изделий, а в ряде случаев – и их отделке.

При решении вопросов механизации и автоматизации в сварочном производстве в первую очередь внимание уделяется сборочно-сварочным работам, которые во многом определяют качество изготовления изделий.

**Механизация сборочных работ.** Сборка под сварку включает в себя технологические операции, обеспечивающие соблюдение установленных требований к деталям, подлежащих сварке необходимого взаи-

морасположения заданного чертежом с закреплением их специальными приспособлениями или прихватками. В зависимости от вида производства, особенностей конструкции и технических условий сборку можно выполнять различными способами: по разметке, по шаблонам или первому изделию, по сборочным отверстиям и в приспособлениях. Решения вопросов механизации и автоматизации сборочных работ можно достигнуть путем применения специальных сборочных приспособлений. Такие приспособления создаются комбинацией по заданной схеме отдельных элементов (базирующих, прижимов, распорных устройств и др.) с их приводами и элементами управления на общем основании, работающих в соответствии со схемой собираемости изделий. В зависимости от конфигурации собираемых изделий и назначения сборочные приспособления можно разделить на группы.

**Сборочные стенды** – приспособления с одной, чаще горизонтальной, базовой поверхностью, предназначенные для сборки крупногабаритных изделий. Они имеют неподвижное основание с размещенными на нем установочными и прижимными элементами. Для обслуживания приспособления могут оборудоваться специальными передвижными или переносными устройствами – порталами, катучими балками, перемещающимися площадками и т.п.

**Сборочные стапели** применяются в тех случаях, когда крупногабаритные изделия имеют сложную объемную конструкцию с расположением деталей в различных пространственных положениях. Базирующие и прижимные элементы крепятся в различных плоскостях, а основания имеют сложную конфигурацию, по форме и размерам соответствующую изделию.

**Сборочные кондукторы** – приспособления типа стенда или стапеля, состоящие из жесткого основания плоской или пространственной формы с размещенными на нем установочными и прижимными устройствами, обеспечивающими заданное расположение деталей изделия. При использовании таких приспособлений точность сборочных размеров в изделии обеспечивается за счет точности самого приспособления. Поэтому они отличаются повышенной точностью и жесткостью и чаще всего используются для некрупных изделий.

**Переносные универсальные сборочные приспособления** – стяжки, струбцины, распорные устройства и др., применяемые для сборки разнообразных по форме изделий. В основном их используют в единичном, мелкосерийном производстве, на монтаже и строительстве.

Для механизации приспособлений их элементы (прижимы, распоры и т.п.) оснащают специальными быстродействующими приводами (гидравлическими, пневматическими, электрическими), приведение в дейст-

вие которых осуществляется по командам человека или автоматическими устройствами.

**Механизация сварочных работ.** Оборудование для механизации сварочных работ можно разделить на две группы: оборудование для закрепления и перемещения свариваемых изделий; оборудование для установки и перемещения сварочных аппаратов относительно изделия и передвижения сварщиков.

**Оборудование для закрепления и перемещения свариваемых изделий** служит для закрепления и размещения изготавливаемых изделий в наиболее удобных положениях для выполнения сварки. Основными разновидностями такого оснащения являются манипуляторы, позиционеры, кантователи, вращатели, роликовые стенды, поворотные столы и др.

*Манипуляторы* (рис. 20.2) предназначены для установки изделия в удобное для сварки положение и вращения его вокруг горизонтальной или вертикальной оси со скоростью сварки при выполнении механизированной или автоматической дуговой сварки.

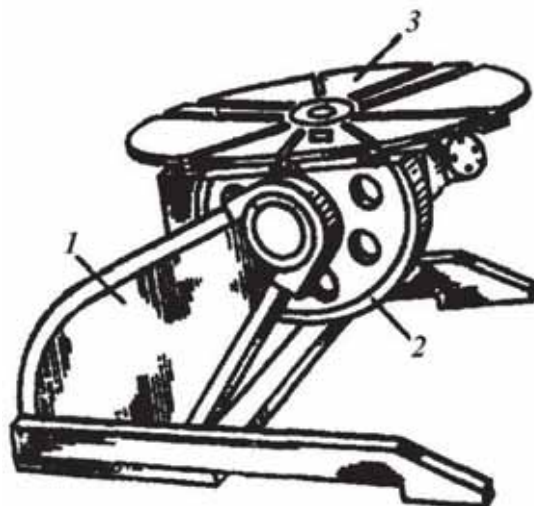


Рис. 20.2. Сварочный манипулятор: 1 – основание; 2 – привод вращения; 3 – стол

*Позиционеры* (рис. 20.3) используют для поворота изделий с целью установки их в удобное для сварки положение. В отличие от манипуляторов они не имеют рабочей скорости в процессе сварки.

*Кантователи* (рис. 20.4) предназначены для установки изделий в удобное для сварки положение путем поворота их вокруг горизонтальной оси. Во время сварки они, так же как и позиционеры, неподвижны.

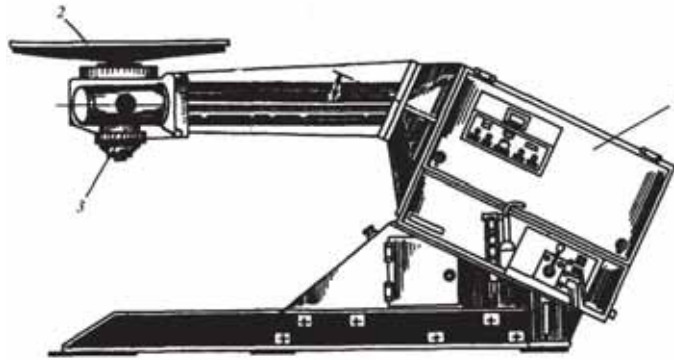


Рис. 20.3. Сварочный позиционер: 1 – корпус;  
2 – рабочий стол; 3 – привод стола

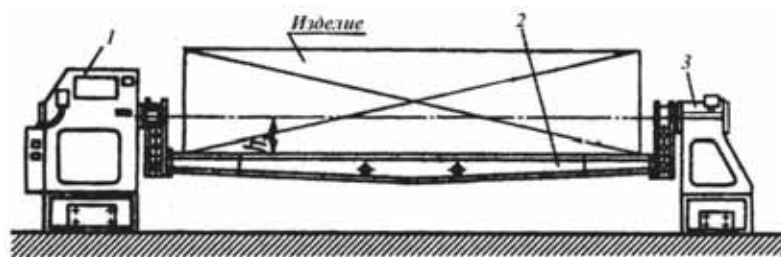


Рис. 20.4. Сварочный кантователь: 1 – приводная стойка;  
2 – силовая балка; 3 – стойка

Вращатели (рис. 20.5) предназначены для закрепления изделия в постоянно заданном положении и вращения его со скоростью сварки при выполнении швов. Они бывают с вертикальной, горизонтальной или наклонной осью вращения.

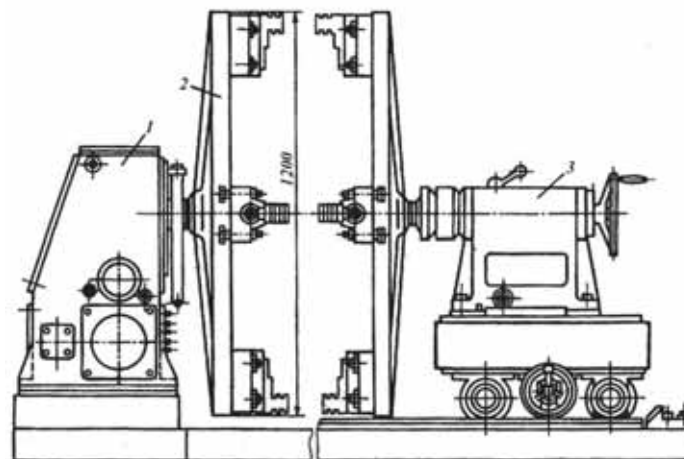
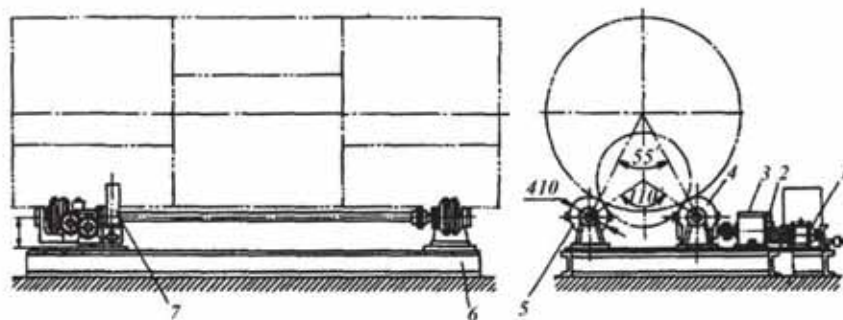


Рис. 20.5. Сварочный вращатель: 1 – неподвижная стойка;  
2 – планшайба; 3 – подвижная стойка

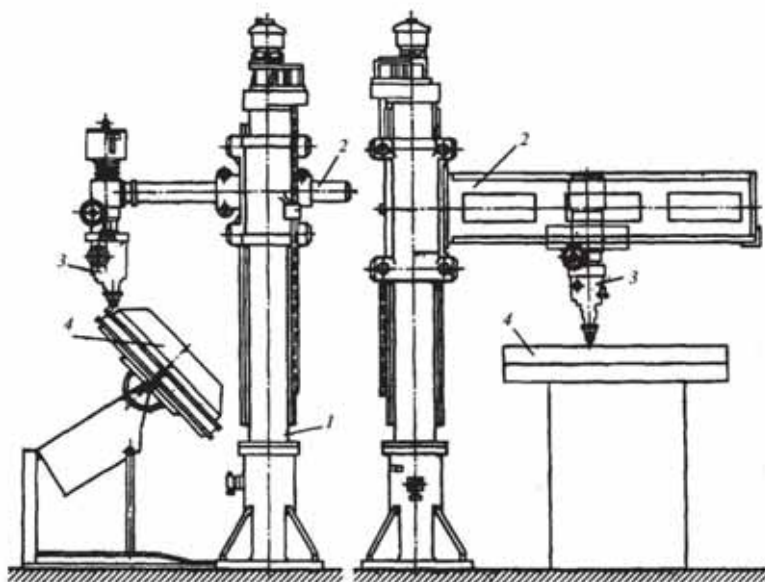
Роликовые стелы (рис. 20.6) предназначены для вращения изделий типа тел вращения при выполнении кольцевых швов, а также

для установки таких изделий при выполнении продольных швов по образующей изделия. Они состоят из унифицированных узлов – ходовых роlikоопор и приводов, установленных на общем основании.



*Рис. 20.6. Роликовый сварочный стенд: 1 – электродвигатель; 2 – сменные зубчатые колеса; 3 – редуктор; 4,5 – приводная и холостая роlikоопора; 6 – рама; 7 – электромагнит*

**Оборудование для установки и перемещения сварочных аппаратов** включает различные типы специализированных колонн и тележек. Колонны различают двух типов: для установки несамоходных и самоходных сварочных автоматов. Первые предназначены для выполнения только кольцевых и круговых швов, вторые позволяют выполнять также и прямолинейные швы. Большинство колонн являются поворотными, что дает возможность отводить сварочный аппарат в сторону и устанавливать свободно изделие каким-либо подъемным устройством (рис. 20.7).



*Рис. 20.7. Консоль колонны для сварочных автоматов*

Тележки для сварочных аппаратов применяют для выполнения как кольцевых, так и продольных швов. По всей конструкции они делятся

на велосипедные, глагольные и порталные. Такие тележки могут перемещаться с установочной или скоростью сварки при выполнении прямолинейных или кольцевых швов (рис. 20.8).

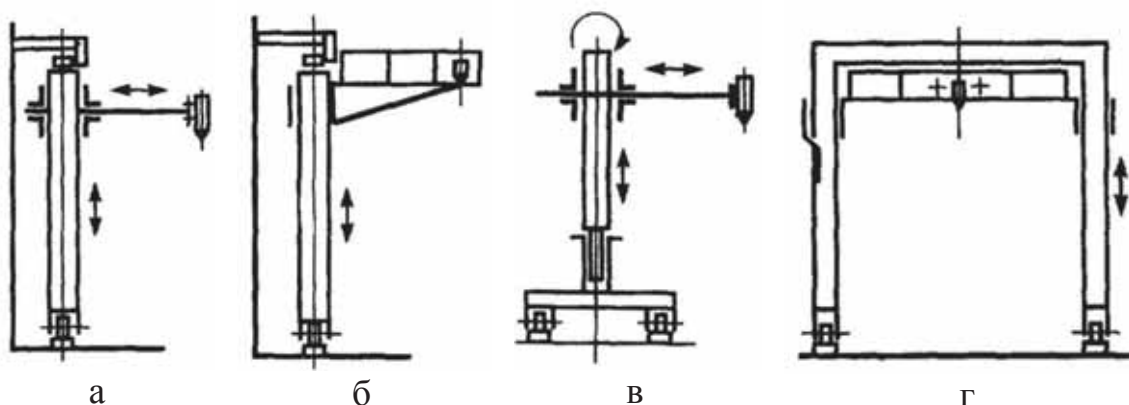


Рис. 20.8. Типы опор для сварочных автоматов: а, б – велосипедные; в – глагольная; г – порталная

К оборудованию для перемещения сварщика относительно изделия относятся различного рода подъемные и подъемно-выдвижные площадки с механизированным приводом дистанционного управления (рис. 20.9).

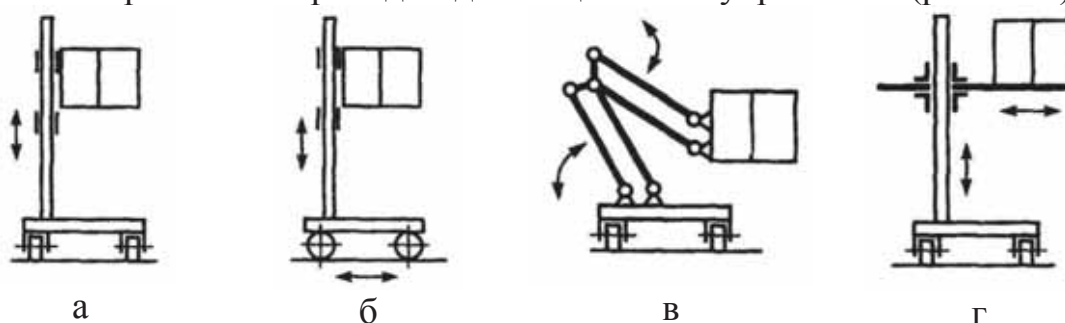


Рис. 20.9. Передвижные площадки для сварщика: а – с передвижением вдоль фронта работ; б – с передвижением поперек фронта работ; в – шарнирно-рычажная; г – координатная

Поточные механизированные и автоматические линии. Поточной линией называют комплекс оборудования, взаимно связанного и работающего согласованно с определенным заданным ритмом по единому технологическому процессу. Поточная механизированная сборочно-сварочная линия представляет собой комплекс оборудования, расположенного в порядке последовательности выполнения технологического процесса и обеспечивающего механизированное выполнение всех операций по изготовлению сварного изделия. По признаку механизации и автоматизации различают несколько типов поточных линий:

- с частичной механизацией, при которой используется ручная механизированная сварка, а остальные процессы производственного цикла (раскрой металла, резка, сборка и др.) выполняются вручную;
- с комплексной механизацией, когда механизированы несколько операций, например применяются механизированная резка и сварка, а также и другие вспомогательные действия для их выполнения;
- с частичной автоматизацией, при которой основные процессы (сварка, резка) автоматизированы, а остальные работы (заготовка, сборка и др.) выполняются с применением механизированного инструмента и приспособлений с использованием ручного труда.

Высшим типом являются поточные линии с комплексной автоматизацией. Автоматическая сборочно-сварочная линия представляет собой комплекс оборудования, выполняющего без непосредственного участия человека в определенной технологической последовательности и с определенным тактом всех операций технологического маршрута. Примером автоматической линии могут служить сборочно-сварочные автоматические линии для производства сварных труб большого диаметра со спиральным швом, на которых с помощью автоматов под наблюдением небольшого количества операторов осуществляются все операции по изготовлению труб из стальной ленты.

Особое значение в автоматизации сварочного производства имеет оснащение его оборудованием с программным управлением. Например, на газорезательной машине «Кристалл» с программным управлением можно вырезать заготовки деталей из стальных листов толщиной до 100 мм. Машина управляется автоматически по заданной программе. Применение сварочного оборудования с программным управлением экономически оправдано в условиях массового и крупносерийного производства.

В сварочном производстве используют сборочно-сварочные линии с различной степенью механизации и автоматизации оборудования и применяемой оснастки с учетом вида производства для многих разновидностей сварных изделий – для сборки и сварки полотнищ крупногабаритных резервуаров, изготовления обечаек, труб, балок и др.

Для сварки могут также использоваться промышленные роботы. Промышленный робот – это автоматическая машина, представляющая собой манипулятор с перепрограммируемым устройством управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, заменяющих аналогичные функции человека при перемещении предметов производства и технологической оснастки.

Промышленный робот является универсальной технологической системой для выполнения разнообразных действий, свойственных чело-



веку в процессе его трудовой деятельности. Под действием автоматической системы управления робота его манипуляторы совершают движения, подобные движениям рук человека в процессе работы. Работа автоматической руки похожа на работу человеческой руки со своими гибкими соединениями в локте, плече и запястье. Отличительным признаком промышленного робота от других видов роботов является его применение в производственном процессе.

Промышленный робот, обладая большими силовыми возможностями, позволяет освободить человека от монотонного, тяжелого, утомительного, а иногда и вредного или опасного труда. В итоге повышается стабильность качества изделий, возможно ускорение процесса производства. Роботы могут действовать с любой позиции и на любом уровне в пространстве. Современный промышленный робот для сварки может быть определен как манипуляционная система, оснащенная техническими средствами ведения сварочного процесса, с программным управлением координатами сварочного инструмента и изделия и параметрами сварочного режима. Сварочный робот состоит из собственно робота и пульта управления. Робот имеет подвижную руку с захватом, которая обладает свободой пространственных перемещений, в какой-то степени имитируя руку человека. В захвате закрепляется инструмент (сварочная горелка). Большинство сварочных роботов имеют 3–5 возможных движений в пространстве (степеней свободы). Комбинирование этих движений позволяет устанавливать сварочную горелку в любых положениях и перемещать ее в любых направлениях в пределах зоны действия робота (рис. 20.10).

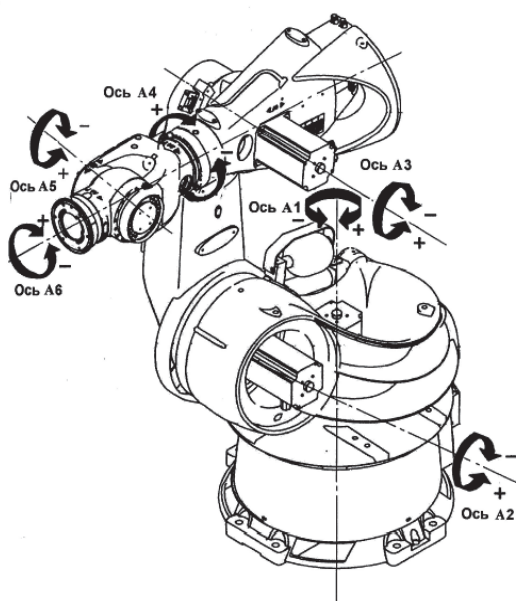


Рис. 20.10. Сочетание робота с манипулятором

При дуговой сварке в ряде случаев целесообразно разделять функции между манипулятором (роботом), служащим для перемещения сварочного инструмента, и манипулятором, служащим для перемещения свариваемого изделия. Такой прием позволяет упростить кинематическую схему и снизить число потребных степеней свободы самого робота. Программа, по которой сварочный робот выполняет свои движения, заранее вводится в его запоминающее устройство.

Одним из основных преимуществ роботов наряду с автоматизацией процесса является возможность легкой и быстрой смены программы в зависимости от смены свариваемого изделия.

В настоящее время в промышленности используют роботы первого поколения, работающие по жесткой программе. Существенным недостатком роботов первого поколения является требование высокой точности сборки свариваемых деталей и их расположения в рабочем пространстве робота. В настоящее время созданы роботы второго поколения с системами обратной связи, с помощью которых рабочая программа и манипуляции робота автоматически корректируются при изменении положения изделия или его отдельных элементов. Управление таких роботов снабжено микропроцессорной вычислительной техникой.

Наряду с совершенствованием обычных промышленных роботов создаются специальные, действующие в экстремальных (сложных, труднодоступных, опасных для человека) условиях.

## ВОПРОСЫ

1. Что понимается под технологическим процессом изготовления сварных конструкций?
2. Каковы этапы проектирования технологического процесса и их содержание?
3. Что понимают под сборочно-сварочной оснасткой? Ее особенности, назначение и роль в производстве сварных конструкций.
4. Охарактеризуйте понятия механизации и автоматизации, их различие и взаимосвязь.
5. Назовите средства и формы механизации и автоматизации в сварочном производстве.
6. Что такое робот? Его назначение?

## ГЛАВА 21. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

### 21.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРОЧНЫХ ПОСТАХ

При выполнении производственных операций за рабочим или бригадой рабочих закрепляется рабочее место в виде определенного участка производственной площади, оснащенной, согласно требованиям технологического процесса, соответствующим оборудованием и необходимыми принадлежностями. Рабочее место электросварщика называют сварочным постом, оборудованным всем необходимым для выполнения сварочных работ. Сварочные посты могут быть стационарными или передвижными. От правильной организации рабочего места в значительной степени зависят как обеспечение высокой производительности труда сварщиков, так и стабильное качество сварных швов и соединений.

Рабочие места сварщиков в зависимости от выполняемой работы и габаритов свариваемых конструкций могут располагаться в специальных сварочных кабинах или непосредственно у этих изделий.

При сварке небольших изделий рабочие места оборудуются сварочными кабинами (рис. 21.1, 21.2) размером 2000х2000 или 2000х3000 мм. Каркас кабины изготавливается металлическим из стальных труб или профильного проката. Стены кабин делают высотой 1800–2000 мм, для лучшей вентиляции не доводя их до пола на 200–300 мм. В качестве материала для стен используют тонколистовую сталь, асбоцементные плиты или другие негорючие материалы. Стены окрашивают в светлые тона огнестойкой краской – цинковыми или титановыми белилами, желтым кроном и др., хорошо поглощающими ультрафиолетовые лучи сварочной дуги. Окраска стен в более темные тона не рекомендуется, так как ухудшается освещенность во время перерывов в горении сварочной дуги. Дверной проем в кабине закрывают брезентовым занавесом на кольцах, пропитанным огнестойким составом.

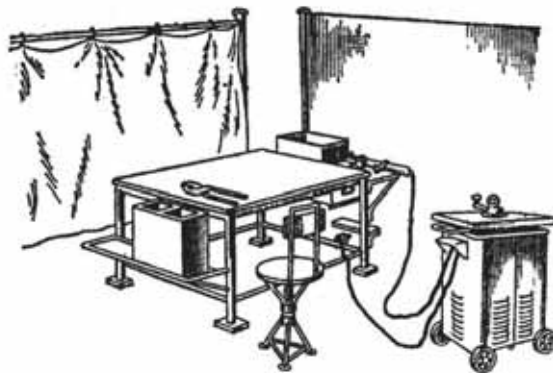


Рис. 21.1. Кабина электросварщика

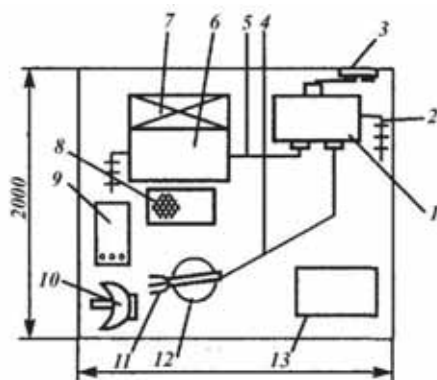


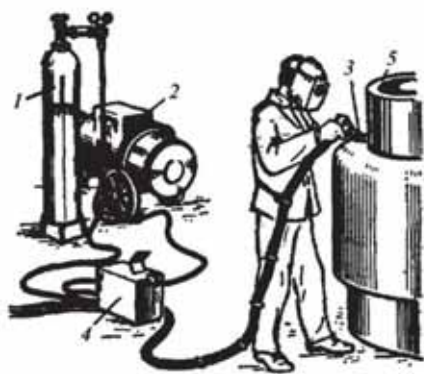
Рис. 21.2. Планировка сварочной кабины: 1 – источник питания дуги; 2 – заземление; 3 – пуск источника питания дуги; 4 – прямой провод; 5 – обратный провод; 6 – стол; 7 – вентиляция; 8 – коврик; 9 – электроды; 10 – щиток; 11 – держатель; 12 – стул; 13 – ящик для отходов

Полы в кабинах настилают из огнеупорного материала: кирпича, цемента или бетона. Кабины должны хорошо освещаться дневным или искусственным светом и хорошо вентилироваться. С этой целью, кроме общей вентиляции, устраивают местные отсосы, поглощающие вредные газы и сварочную пыль непосредственно из зоны их образования. Для сборки и сварки деталей внутри кабины устанавливают сварочный стол высотой 500–600 мм для работы сидя и около 900 мм для работы стоя. Крышку стола площадью около 1 м<sup>2</sup> изготовляют или из листовой стали толщиной 15–20 мм, или из чугунной плиты толщиной 20–25 мм, что лучше, так как чугунная крышка не деформируется от нагревания. К нижней части крышки или к ножке стола приваривают стальной болт, служащий для крепления токоподводящего провода от источника сварочного тока и для провода заземления стола. Сбоку стола имеются гнезда для хранения электродов или присадочной проволоки. В выдвижном ящике стола хранится инструмент, а также технологическая документация. Для удобства работы в кабине устанавливают металлический стул с подъемным винтовым сиденьем, изготовленным из неэлектропроводного материала (дерево, пластмасса и др.). Под ногами у сварщика должен находиться резиновый коврик.

При механизированной или автоматической сварке в кабине дополнительно устанавливают аппаратный ящик. Один из основных видов оборудования сварочных постов – источники питания дуги. Они могут быть однопостовыми или многопостовыми. На рабочем месте обычно размещают однопостовые источники питания. При питании сварочных постов от многопостовых источников сварочный ток разводят по кабинам с помощью токоподводящих проводов или шин. В кабине устанавли-

ливается рубильник или магнитный пускатель для включения сварочного тока.

Кроме того, важным видом оборудования для механизированной и автоматической сварки являются полуавтоматы и автоматы для дуговой сварки, устанавливаемые совместно с необходимым для их успешной работы вспомогательным сварочным оборудованием и приспособлениями. Схемы сварочных постов для различных видов дуговой сварки приведены на рисунке 21.3.



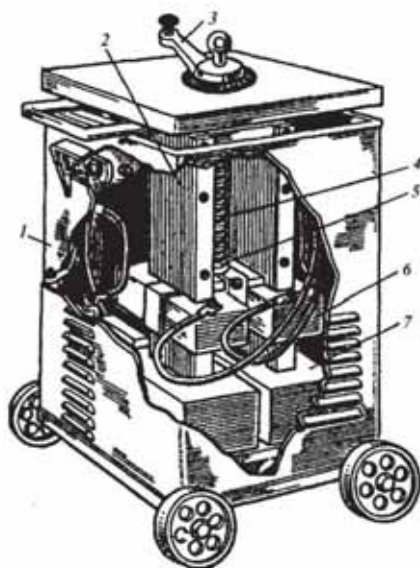
*Рис. 21.3. Оборудование рабочего места электросварщика при механизированной сварке в среде защитных газов:*

*1 – баллон защитного газа; 2 – источник питания дуги;  
3 – горелка полуавтомата; 4 – подающий механизм; 5 – деталь*

Для дуговой сварки используют как переменный, так и постоянный ток. Источниками переменного тока являются сварочные трансформаторы, а постоянного – сварочные выпрямители, преобразователи и агрегаты. В настоящее время промышленность выпускает различные конструкции всех видов сварочных источников питания.

## **21.2. СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**Сварочные трансформаторы** являются понижающими и преобразуют переменный ток одного напряжения подводящей электрической сети (более высокого) в переменный ток другого напряжения (более низкого) той же частоты и служат для питания сварочной дуги. Кроме того, они осуществляют регулирование силы тока и зависимости от требований сварочного режима. Сварочный трансформатор (рис. 21.4) состоит из корпуса 1, внутри которого укреплен замкнутый магнитопровод 2, собранный из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. На сердечнике магнитопровода располагают первичную 7 и вторичную 6 обмотки.

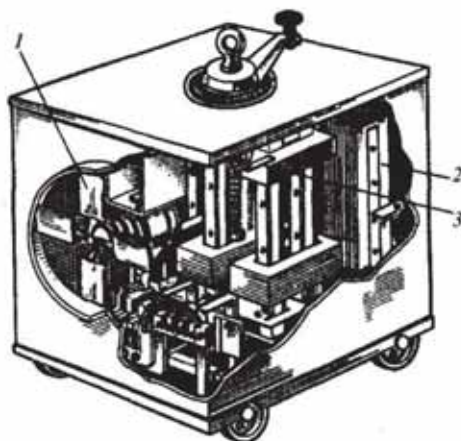


*Рис. 21.4. Сварочный трансформатор*

В свою очередь, каждая из обмоток выполнена из двух катушек, расположенных на боковых стержнях сердечника. Соединение их может быть последовательным или параллельным. Между первичной и вторичной обмотками существует индуктивная связь. Пропускание по первичной обмотке, имеющей большее число витков, переменного тока от сети напряжением 220 или 330 В в сердечнике трансформатора создает переменный магнитный поток, который, взаимодействуя с вторичной обмоткой, имеющей меньшее число витков, индуцирует в ней переменный ток той же частоты, но меньшего напряжения и большей силы. Для надежного зажигания дуги вторичное напряжение сварочных трансформаторов обычно не менее 60 В и не более 80 В. Катушки первичной обмотки укреплены неподвижно и включаются в сеть переменного тока.

Катушки вторичной обмотки могут перемещаться вдоль сердечника, и от них сварочный ток подается на дугу. Регулирование сварочного тока производится изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. Регулирование осуществляется винтом 4 и ходовой гайкой 5, жестко связанной с катушками вторичной обмотки. Вращением рукоятки 3 можно перемещать вторичные обмотки вверх или вниз в зависимости от направления вращения винта. При приближении вторичной обмотки к первичной сварочный ток возрастает, при удалении обмоток – уменьшается. Последовательное или параллельное соединение катушек первичной и вторичной обмоток позволяет получать два диапазона регулирования силы тока. Диапазоны силы тока переключают с помощью выведенной на крышку корпуса специальной рукоятки.

**Сварочные выпрямители** служат для преобразования переменного тока в постоянный, предназначенный для питания сварочной дуги. С этой целью в выпрямителях используются полупроводниковые (селеновые, кремниевые или германиевые) выпрямительные элементы. Сварочный выпрямитель (рис. 21.5) состоит из понижающего трехфазного трансформатора 3 с подвижными катушками, выпрямительного блока 2 с охлаждающим вентилятором 1, пускорегулирующей и защитной аппаратурой, смонтированной в общем корпусе.



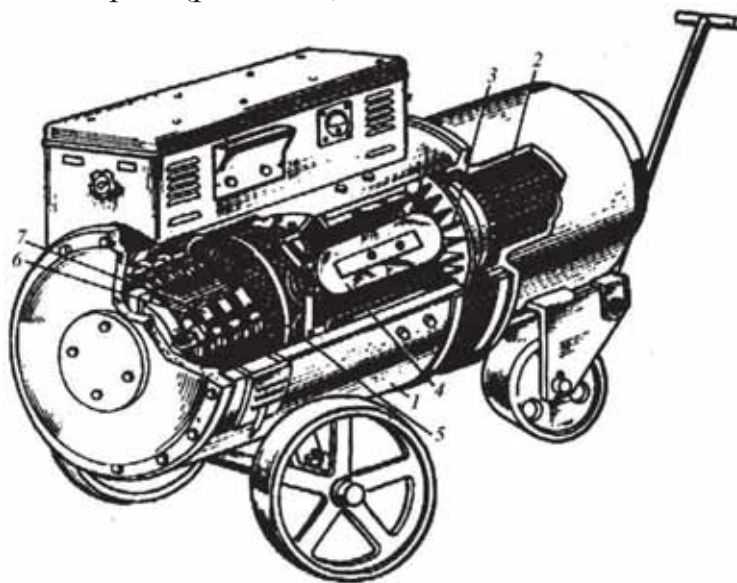
*Рис. 21.5. Сварочный выпрямитель*

Понижающий трехфазный трансформатор снижает напряжение сети до необходимого рабочего, а также служит для регулирования сварочного тока изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. Внутри сердечника трансформатора проходит ходовой винт с закрепленной на нем первичной обмоткой. Сварочный выпрямитель имеет два диапазона регулирования сварочного тока.

Сварка выпрямленным током может производиться на прямой и обратной полярности. При прямой полярности деталь подсоединяется к зажиму «+» источника, а электрод – к зажиму «-» источника, при обратной полярности – наоборот.

**Сварочный преобразователь.** Постоянный неп пульсирующий ток получают с помощью коллекторных машинных генераторов, выпускаемых в виде сварочных преобразователей или агрегатов. Сварочный преобразователь состоит из генератора постоянного тока и электродвигателя переменного тока, размещенных обычно в общем корпусе и на общем валу. Электродвигатель преобразует энергию переменного тока в механическую, а сварочный генератор преобразует механическую энергию в электрическую постоянного тока, питающего сварочную дугу. В агрегатах используют двигатели внутреннего сгорания. Сварочный

генератор состоит из статора с магнитными полюсами и ротора с обмоткой и коллектором (рис. 21.6).



*Рис. 21.6. Сварочный преобразователь: 1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 – генератор; 4 – статор; 5 – ротор; 6 – коллектор; 7 – щетки*

При работе ротор вращается электродвигателем в магнитном поле статора. В нем возникает переменный ток, который с помощью коллектора преобразуется в постоянный и направляется в сварочную цепь. Сила сварочного тока регулируется реостатом, включенным в обмотку возбуждения статора. Сварочные преобразователи и агрегаты строятся по различным схемам.

Основные обязанности сварщика по обслуживанию источников питания дуги.

1. Перед включением источника питания дуги необходимо очистить его от пыли и грязи, проверить надежность изоляции сварочных проводов, точность их подключения и затяжки гаек на зажимах, а также оградить место сварки щитами, ширмами или брезентовыми занавесями. При обнаружении дефектов в источнике и в сварочных проводах сообщить об этом производственному мастеру, наладчику сварочного оборудования или электромонтеру для их устранения.

2. Убедиться в наличии провода заземления источника и его надежности.

3. При работе на открытой площадке обеспечить защиту оборудования от атмосферных осадков.

4. Включить источник питания дуги магнитным пускателем или рубильником.

5. Во время сварки работать в спецодежде и спецрукавицах.



В сырую погоду или в сыром помещении пользоваться резиновыми ковриками.

### **21.3. ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ СВАРЩИКА**

Для выполнения сварочных работ сварщик должен иметь определенный набор инструментов и принадлежностей.

Для крепления покрытого электрода и подвода к нему сварочного тока используют электродвигатели. Предусмотрены три типа электрододержателей в зависимости от силы сварочного тока: до 125 А, на 125–315 и на 315–500 А.

Для защиты глаз и лица электросварщика от прямых излучений сварочной дуги, брызг расплавленного металла и искр применяют защитные щитки. Предусмотрены два типа защитных щитков: ручные с непрозрачным корпусом (тип РН) и наголовные с непрозрачным корпусом (тип НН). Корпус щитков изготавливают из токонепроводящего и невоспламеняющегося материала, стойкого к брызгам расплавленного металла. Обычно применяют черную фибру. В зависимости от силы сварочного тока щитки комплектуют защитными стеклами – светофильтрами. Светофильтры темно-зеленого цвета обеспечивают защиту глаз и кожи лица от излучений в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра дуги при сварке на токах 20–1000 А. Они изготавливаются 13 классов (С1, С2, С3 и т.д.). Класс светофильтра выбирается в зависимости от силы сварочного тока. Размер светофильтра 52x102 мм. Светофильтр вставляется в рамку щитка. Для защиты его от брызг снаружи дополнительно вставляют прозрачное стекло, которое сменяется по мере загрязнения и забрызгивания.

Для подвода сварочного тока от источника питания дуги к электрододержателю и детали применяют сварочные провода. Электрододержатели присоединяются к гибкому с медными жилами проводу ПРГД или ПРГДО. При отсутствии значительных механических воздействий можно использовать провод АПРГДО с алюминиевыми жилами. Медный провод ПРГД может противостоять воздействию ударных нагрузок, а также трению о металлические конструкции, абразивные материалы. Длина гибкого провода, к которому присоединяется электрододержатель, обычно равна 2–3 м, остальная часть его может быть заменена проводами марок КРПТ, КРПТН, КРПГ и другими с медными жилами и АКРПТ, АКРПТН с алюминиевыми жилами. Соединение проводов разных марок выполняется муфтами, пайкой или медными кабельными наконечниками и болтами. Провод, соединяющий свариваемое изделие с

источником питания, может быть менее гибким и более дешевым. В этом случае применяют провод марки ПРГ.

Для соединения при дуговой сварке горелок, автоматических или полуавтоматических сварочных установок с источниками питания дуги применяют гибкие силовые кабели с алюминиевыми или медными жилами с резиновой изоляцией и оболочкой. Сечение кабелей и проводов выбирают в зависимости от силы сварочного тока в пределах установленных нормативов для электротехнических установок.

Помимо отмеченных принадлежностей сварщику приходится пользоваться набором инструментов: стальными щетками для зачистки кромок перед сваркой и удаления с поверхности швов остатков шлака; молотком-шлакоотделителем для удаления шлаковой корки; зубилом; набором шаблонов для проверки размеров швов и формы подготовки кромок; стальным клеймом, метром, угольником, чертилкой, ящиком для хранения и переноски инструмента.

Спецодежда сварщиков (куртка, брюки, рукавицы) шьется из плотной и трудновоспламеняемой ткани (брезент, сукно и др.).

## ВОПРОСЫ

1. Что понимается под понятием «сварочный пост»?
2. Как оборудуются сварочные посты для ручной и механизированной дуговой сварки?
3. Какие источники питания сварочным током используют при дуговой сварке?
4. Назовите принадлежности и инструмент сварщика.
5. Почему для выполнения сварочных работ применяют разные сварочные посты?
6. Что ожидает сварщика при выполнении ручной дуговой сварки без применения щитка со светофильтром?
7. Для чего необходим источник питания дуги при дуговой сварке?

## ГЛАВА 22. ОХРАНА ТРУДА, ПРОТИВОПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

### 22.1. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Охрана труда представляется комплексом технических и организационных мероприятий, направленных на создание безопасных и здоровых условий труда работающих. Охрана труда, прежде всего, предусматривает предотвращение производственного травматизма. Главной материальной основой улучшения условий труда являются новые методы производства, новая техника, комплексная механизация и автоматизация производства. Трудовым законодательством предусмотрен ряд льгот для рабочих-сварщиков. К сварочным работам допускаются лица не моложе 18 лет после сдачи техминимума по правилам техники безопасности. Продолжительность рабочего дня сварщика, работающего внутри замкнутых сосудов – 6 часов. Сварщикам ежегодно предоставляется дополнительный оплачиваемый отпуск в зависимости от условий работы. Им выдаются спецодежда, защитные щитки и маски. При тяжелых и вредных работах сварщики получают специальное питание. Обязанность создания нормальных условий труда сварщикам непосредственно на производственных участках и рабочих местах возлагается на мастеров и начальников участков. Организация каждого рабочего места должна обеспечивать безопасное выполнение работ. Рабочие места должны быть оборудованы различного рода ограждениями, защитными и предохранительными устройствами и приспособлениями. При правильно организованном производстве, обеспечении условий охраны труда и соблюдении правил техники безопасности и производственной санитарии сварка не представляет собой особо вредного и опасного технологического процесса. Однако для создания безопасных условий работы сварщиков необходимо учитывать, кроме общих положений техники безопасности на производстве, также и особенности выполнения различных сварочных работ. Такими особенностями являются возможные поражения электрическим током, отравления вредными газами и парами, ожоги излучением сварочной дуги и расплавленным металлом, поражения от взрывов баллонов со сжатыми и сжиженными газами.

**Электробезопасность.** Поражение электрическим током происходит при соприкосновении человека с токоведущими частями оборудования.

Соппротивление человеческого организма в зависимости от его состояния (утомленность, влажность кожи, состояние здоровья) меняется

в широких пределах от 1000 до 20 000 Ом. Напряжение холостого хода источников питания дуги достигает 90 В, а сжатой дуги – 200 В. В соответствии с законом Ома при неблагоприятном состоянии сварщика через него может пройти ток, близкий к предельному:  $I=0,09A$ . Для предупреждения возможного поражения электрическим током при выполнении электросварочных работ необходимо соблюдать основные правила.

1. Корпуса оборудования и аппаратуры, к которым подведен электрический ток, должны быть надежно заземлены.

2. Все электрические провода, идущие от распределительных щитов и на рабочие места должны быть надежно изолированы и защищены от механических повреждений.

3. Запрещается использовать контур заземления, металлоконструкций зданий, а также трубы водяной и отопительной системы в качестве обратного провода сварочной цепи.

4. При выполнении сварочных работ внутри замкнутых сосудов (котлов, емкостей, резервуаров и т.п.) следует применять деревянные щиты, резиновые коврики, перчатки, галоши. Сварку необходимо проводить с подручным, находящимся вне сосуда. Следует помнить, что для осветительных целей внутри сосудов, а также в сырых помещениях применяют электрический ток напряжением не выше 12 В, а в сухих помещениях не выше 36 В. В сосудах без вентиляции сварщик должен работать не более 30 мин с перерывами для отдыха на свежем воздухе.

5. Монтаж, ремонт электрооборудования и наблюдение за ним должны выполнять электромонтеры. Сварщикам категорически запрещается исправлять силовые электрические цепи.

При поражении электрическим током необходимо немедленно выключить ток первичной цепи или освободить от его воздействия пострадавшего, обеспечить к нему доступ свежего воздуха, вызвать врача, а при необходимости до прихода врача сделать искусственное дыхание.

**Защита зрения и открытой поверхности кожи.** Электрическая сварочная дуга излучает яркие видимые световые лучи и невидимые – ультрафиолетовые и инфракрасные. Световые лучи оказывают ослепляющее действие, так как их яркость значительно превышает норму, допускаемую для человеческого глаза (до 10000 раз). Ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии в течение нескольких секунд вызывают заболевание глаз, называемое электроофтальмией. Оно сопровождается острой болью, резью в глазах, слезоточением, спазмами век. Продолжительное действие ультрафиолетовых лучей приводит к ожогам кожи. Инфракрасные лучи при длительном воздействии вызывают помутнение хрусталиков глаз (катаракта), что может

привести к ослаблению и потере зрения, тепловое действие этих лучей вызывает ожоги кожи. Защита зрения и кожи лица при дуговой сварке обеспечивается применением щитков, масок или шлемов, в смотровые отверстия которых вставляют светофильтры, задерживающие и поглощающие излучение дуги. В зависимости от мощности дуги применяют различные светофильтры. Для защиты окружающих от излучения дуги в стационарных условиях устанавливают закрытые кабины, а при строительных и монтажных работах применяют переносные щиты и ширмы. Для предохранения рук сварщиков от ожогов от излучения дуги, а также брызг расплавленного металла необходимо надевать защитные рукавицы, а тело прикрывать специальной одеждой (обычно брезентовые куртки и брюки). При выполнении вертикальных, горизонтальных и потолочных швов рекомендуется надевать брезентовые нарукавники.

**Защита от вредного влияния выделяющихся газов и пыли.** В процессе сварки выделяется значительное количество аэрозоля, состоящего в основном из оксидов железа (до 70 %), марганца, диоксида кремния и фтористых соединения, способных отравить работающего. Наряду с кратковременным отравлением, проявляющимся в виде головокружения, головной боли, тошноты, рвоты, слабости, отравляющие примеси могут откладываться в тканях организма человека и вызывать хронические заболевания. Особое внимание обращается на концентрацию марганца, так как его наличие в воздухе, в количестве  $0,3 \text{ мг/м}^3$  и выше может вызывать тяжелые заболевания нервной системы.

Наиболее вредной является ручная дуговая сварка покрытыми электродами. При автоматических способах сварки количество выделений значительно меньше.

Под воздействием ультрафиолетового излучения дуги в зоне ее горения образуется озон, а при попадании в зону сварки воздуха – оксиды азота. Сварка под флюсом, содержащим плавиковый шпат, сопровождается выделением фтористых соединений. Все эти продукты являются весьма вредными для дыхательных путей человека. Подаваемый в зону сварки углекислый газ не ядовит, но под действием высокой температуры дуги он разлагается на кислород и оксид углерода, который, выходя из области высоких температур, вновь окисляется кислородом воздуха, снова превращаясь в углекислый газ. Последний более тяжелый, чем воздух, скапливается в нижних частях помещения, вытесняя воздух. Это может привести к нехватке кислорода для дыхания сварщика. Поэтому там, где ведется сварка в углекислом газе, а также в аргоне, необходимо устраивать отсосы из нижних частей помещений.

Из зоны сварки выделяется также и пыль – мелкие (до 1 мкм) частицы сконденсировавшихся паров. Состав пыли и ее количество зависят

от состава защитного газа, свариваемого металла, применяемой электродной проволоки и режима сварки. Токсичность пыли зависит от ее состава и строения частиц. Наиболее высока концентрация пыли и вредных газов в облаке дыма, поднимающегося из зоны сварки, поэтому сварщик должен следить за тем, чтобы этот поток не попадал за щиток. Для удаления вредных газов и пыли из зоны сварки необходимо устройство местной вентиляции, вытяжной и общеобъемной приточно-вытяжной цеховой. Приточно-вытяжная вентиляция должна обеспечивать обмен воздуха на 1 кг расплавленного металла в следующих объемах (м<sup>3</sup>): при сварке углеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе – 3000, при сварке под флюсом – 2000, при сварке меди и ее сплавов – до 7000. В зимнее время приточная вентиляция должна подавать в помещение подогретый воздух. Отсосы местной вытяжной вентиляции на стационарных сварочных постах располагают в нижней задней части сварочного стола, а на подвижных сварочных постах рекомендуется использовать переносные отсосы. Успешно применяются также местные отсосы газа, устанавливаемые непосредственно на сварочных горелках и держателях при механизированной сварке.

При отравлении пострадавшего необходимо вынести на свежий воздух, освободить от стесненной одежды и предоставить ему покой до прибытия врача, а при необходимости следует применить искусственное дыхание.

Правила обращения с баллонами для сжатых и сжиженных газов. Электросварщику в процессе работы приходится пользоваться баллонами для сжатых (аргон, гелий и др.) и сжиженных (углекислый газ) газов. При работе с ними необходимо соблюдение следующих мер безопасности:

- хранить баллоны следует в вертикальном положении с плотно навинченными предохранительными колпаками в специальных гнездах или клетках с барьерами;
- не следует допускать падения баллонов, а также ударов их друг о друга;
- баллоны нужно переносить на носилках или перевозить на тележках;
- в летнее время баллоны необходимо защищать от нагрева солнечными лучами брезентом или другими средствами;
- открывать вентиль баллона следует плавно, без рывков, пользоваться специальным ключом;

- при замерзании баллонных вентилях и редукторов (что бывает при интенсивном отборе газа) отогреть можно только горячей водой (применять открытый огонь нельзя);

- для понижения давления до рабочего следует пользоваться исправными газовыми редукторами, предназначенными для данного газа и окрашенными в соответствующий этому газу цвет.

Защита от ушибов и порезов. Ушибы и порезы чаще всего случаются при выполнении сборочно-сварочных работ и являются результатом неправильной организации рабочего места, нарушения правил ручного подъема и переноса тяжестей и небрежного отношения к работе. В процессе сборки тяжелых и громоздких изделий необходимо применять кантователи, подъемники и другие механизированные подъемно-транспортные устройства. При этом нужно соблюдать все правила безопасности труда, предусмотренные для такелажных работ. Чтобы избежать порезов, уколов и других ранений, детали, имеющие острые кромки, следует собирать только в рукавицах.

Основными мерами по снижению травматизма являются продуманная с позиций безопасности работ технология заготовительных работ, сборки и сварки, правильное освещение рабочих мест и соблюдение персоналом правил техники безопасности.

## **22.2. ПРОТИВОПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Причинами пожара при сварочных работах могут быть искры и капли расплавленного металла и шлака, неосторожное обращение с пламенем горелки при наличии горючих материалов вблизи рабочего места сварщика. Опасность пожара особенно следует учитывать на строительном-монтажных площадках и при ремонтных работах в не приспособленных для сварки помещениях.

Для предупреждения пожаров необходимо соблюдать следующие противопожарные меры:

- нельзя хранить вблизи от места сварки огнеопасные или легковоспламеняющиеся материалы, а также производить сварочные работы в помещениях, загрязненных промасленной ветошью, бумагой, отходами дерева и т.п.;

- запрещается пользоваться одеждой и рукавицами со следами масел, жиров, бензина, керосина и других горючих жидкостей;

- нельзя выполнять сварку и резку свежескрашенными масляными красками конструкций до полного их высыхания;

- запрещается выполнять сварку аппаратов, находящихся под электрическим напряжением, и сосудов, находящихся под давлением;

- нельзя проводить без специальной подготовки сварку и резку емкостей из-под жидкого топлива;
- при выполнении в помещениях временных сварочных работ деревянные полы, настилы и помосты должны быть защищены от воспламенения листами асбеста или железа;
- нужно постоянно иметь и следить за исправным состоянием противопожарных средств – огнетушителей, ящиков с песком, лопат, ведер, пожарных рукавов и т.п., а также содержать в исправности пожарную сигнализацию;
- после окончания сварочных работ необходимо выключить сварочный аппарат, а также убедиться в отсутствии горящих или тлеющих предметов. Средствами пожаротушения являются вода, пена, газы, пар, порошковые составы и др.

Для подачи воды в установки пожаротушения используют специальные водопроводы. Пена представляет собой концентрированную эмульсию диоксида углерода в водном растворе минеральных солей, содержащих пенообразующее вещество. При тушении пожара газами и паром используют диоксид углерода, азот, дымовые газы и др.

При тушении керосина, бензина, нефти, горящих электрических проводов запрещается применять воду и пенные огнетушители. В этих случаях следует пользоваться песком, углекислотными или сухими огнетушителями.

### **22.3. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

В соответствии с конституцией в интересах ныне живущего и будущих поколений принимаются меры для охраны и рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды. Эти мероприятия в годовых планах предприятий группируются по разделам: охрана и использование водных ресурсов, охрана воздушного бассейна, охрана и рациональное использование земель, охрана и использование минеральных ресурсов.

Охрана и использование водных ресурсов предусматривают мероприятия по возведению сооружений для забора воды из водоемов, очистки сточных вод, систем оборотного водоснабжения с целью уменьшения безвозвратных потерь воды и др.

В сварочном производстве на многих предприятиях применяют систему оборотного водоснабжения, воду, применяемую для охлажде-



ния сварочного оборудования, многократно используют после ее естественного охлаждения.

Охрана воздушного бассейна предусматривает мероприятия по обезвреживанию вредных для человека и окружающей среды веществ, выбрасываемых с отходящими газами: сооружение очистных установок в виде мокрых и сухих пылеуловителей, для химической и электрической очистки газов, а также для улавливания ценных веществ, утилизации отходов и др. Например, из отходящих продуктов сгорания производят сжиженный углекислый газ для сварочных и других целей.

Охрана и рациональное использование земель предусматривают мероприятия, направленные на сокращение выхода земель из сельскохозяйственного оборота, предохранение их от эрозии и других разрушительных процессов, рекультивацию земель и др.

Охрана и рациональное использование минеральных ресурсов предусматривают мероприятия по совершенствованию систем и методов разработки месторождений полезных ископаемых и схем обогащения руд, использованию отходов металлургического производства и машиностроения, повышению извлечения из руд попутных ценных компонентов и др. Деятельность предприятия не должна нарушать нормальных условий работы других предприятий и организаций, ухудшать бытовые условия населения. С этой целью в годовых планах предусматриваются также меры борьбы с производственными шумами, вибрациями, воздействиями электрических и магнитных полей. Шум, создаваемый сварочным оборудованием, должен быть минимальным.

Источники питания сварочной дуги, а также ряд электрических устройств, применяемых в сварочных автоматах и полуавтоматах, создают помехи радио- и телеприему. С целью устранения этого явления во всех типах сварочного оборудования, создающего такие помехи, устанавливаются помехозащитные устройства.

## ВОПРОСЫ

1. Какова цель мероприятий по охране труда и технике безопасности?
2. Расскажите о мерах защиты работающего от поражения электрическим током.
3. Каковы меры защиты сварщика от воздействия излучений сварочной дуги?
4. Расскажите правила обращения с баллонами для газов.
5. Каковы основные мероприятия по противопожарной безопасности при выполнении сварочных работ?

## ЧАСТЬ 4

### ГЛАВА 23. ИНЖЕНЕРНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ КАФЕДРЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЮТИ ТПУ

#### 23.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Государственным образовательным стандартом специальности обязательно предусматривается производственная практика, но для каждого высшего учебного заведения существуют свои отличительные особенности прохождения практик.

В данной главе представлен опыт организации производственной практики студентов специальности «Оборудование и технология сварочного производства» в Юргинском технологическом институте Томского политехнического университета, в основу которого положена интегрированная система обучения.

В основу производственной практики в Юргинском технологическом институте ТПУ положен стандарт СТО ТПУ 2.5.01-2006, утвержденный и введенный в действие приказом ректора ТПУ. В соответствии со стандартом, практика – это часть основной образовательной программы высшего профессионального образования, обеспечивающая передачу и усвоение конкретных умений и/или навыков в данной предметной области.

Производственную практику студенты ЮТИ ТПУ КСП проходят на предприятиях и организациях городов Кемеровской, Новосибирской, Томской, Тюменской областей и Красноярского края: ООО «Юргинский машзавод» (базовое предприятие), ООО «Металлист», ООО ПСК «Ремстройиндустрия», ООО «Стройком» (г. Томск), Авиационный завод им. Чакалова (г. Новосибирск), ООО «Анжеромащ» (г. Анжеро-Судженск) и т.д., частные фирмы и индивидуальные предприниматели. В отзывах руководителей предприятий дана высокая оценка уровня квалификации студентов ЮТИ ТПУ.

В результате выпускник Юргинского технологического института ТПУ не только имеет полное представление о выбранной специальности, но и овладевает знаниями, умениями и навыками, необходимыми для максимально быстрой адаптации специалиста к условиям производства, что и является одной из основных целей успешной реализации интегрированного обучения.

Интегрированная система обучения доказала высокий уровень образования наших студентов, так как данная система подготовки специа-

листов в Юргинском технологическом институте обеспечивает наших выпускников рабочими местами.

### **23.2. ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ**

Целями производственной практики являются:

- максимальное сокращение сроков формирования специалистов, обладающих необходимым для эффективной работы уровнем теоретических знаний и практического опыта работы;
- закрепление и расширение теоретических и практических знаний, полученных за время обучения;
- изучение организационной структуры предприятия и действующей на нем системы управления;
- ознакомление с содержанием основных работ и исследований, выполняемых на предприятии или в организации по месту прохождения практики;
- приобретение практических навыков в будущей профессиональной деятельности или в отдельных ее разделах.

Для эффективного достижения вышеперечисленных целей студенты ЮТИ ТПУ, находящиеся на практике, должны осуществлять выполнение ниже перечисленных задач:

- понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии и основные проблемы дисциплин, определяющих область профессиональной деятельности, видеть их взаимосвязь в целостной системе знаний;
- иметь ориентацию на профессиональное мастерство и творческое развитие профессии и человека в ней;
- понимать определяющую роль методологических и мировоззренческих взглядов в деятельности профессионала;
- уметь использовать методы научно-технического творчества для решения задач, связанных с профессиональной деятельностью;
- уметь на научной основе организовать свой труд и владеть компьютерными методами сбора, хранения и обработки (редактирования) информации, применяемыми в профессиональной деятельности;
- уметь научно анализировать социально-значимые проблемы и процессы в профессиональной деятельности.

Особенность интегрированной системы обучения заключается в том, что организация производственной практики направлена на обеспечение непрерывности и последовательности овладения студентами профессиональной деятельностью в соответствии с уровнем подготовки выпускника.

### **23.3. ОБЯЗАННОСТИ СТУДЕНТОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ**

Студент ЮТИ ТПУ при выполнении ПП обязан:

- 1) систематически и глубоко овладевать теоретическими знаниями, практическими навыками по избранной специальности, работать над повышением своего научно-технического и культурного уровня;
- 2) выполнять в установленные сроки все виды учебной и производственной работы, предусмотренные учебным планом и программами;
- 3) выполнять производственные задания и нести полную ответственность за качество выполняемой работы;
- 4) изучать и строго соблюдать правила охраны труда, техники безопасности и производственной санитарии;
- 5) выполнять правила внутреннего распорядка предприятия и филиала, в том числе по трудоустройству и перемещению по рабочим местам и инженерно-техническим должностям, не допуская прогулов как на производстве, так и на занятиях;
- 6) принимать активное участие в общественной жизни коллектива;
- 7) участвовать в изобретательской и рационализаторской деятельности.

### **23.4. ВИДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ**

Производственная подготовка студентов осуществляется под руководством директора ЮТИ ТПУ, который несет полную ответственность за организацию ПП.

Конкретное содержание ПП определяется для каждого семестра обучения исходя из квалификационных требований, получаемой студентами специальности «Оборудование и технология сварочного производства», учебного плана и программ, а также специфики производства и перспективы развития предприятия.

На 1-ом курсе теоретические начала ПП изучаются в рамках курсов «Введение в специальность» и «Технология конструкционных материалов (Технологические процессы в машиностроении)», «Инженерно-производственная подготовка».

По окончании 1 курса студенты аттестовываются на рабочую специальность электросварщика 2–3 разряда.

По окончании 1-го курса после каникул студенты приступают к ознакомительной производственной практике. На 4 и 5 курсах – техно-

логическая и конструкторско-технологическая практика соответственно.

Учебными планами предусматриваются следующие формы отчетности по ПП: в конце семестра профилирующая кафедра проводит зачет по ПП, результаты заносятся в зачетную книжку в раздел «Производственная практика». Этот зачет является оценкой выполнения студентом программы ПП в данном семестре. Студент, получивший неудовлетворительную оценку на зачете по ПП, считается имеющим академическую задолженность.

### **23.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ПРАКТИКЕ**

Содержание отчета определяется заданием (приложения Б–Г). Отчет объемом 30 страниц должен быть написан на листах формата А4 и сброшюрован. Оформление отчета в соответствии с СТО ТПУ 2.5.01-2006.

Титульный лист (приложение А) подписывается руководителем практики и заведующим кафедрой СП.

Деффицируемый зачет по практике принимается комиссией, назначаемой заведующим кафедрой СП в течение недели после окончания практики. На зачет студент представляет отчет по практике, заверенный руководителем практики, а также приложения к нему.

Оценка за практику проставляется на титульном листе отчета и в зачетной книжке студента на специально отведенном для этого листе, где члены комиссии ставят свои подписи.

Студенты, не представившие отчет или получившие неудовлетворительную оценку, считаются имеющими академическую задолженность.

### **23.6. РУКОВОДСТВО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКОЙ**

Руководство и контроль за проведением ПП возлагается на руководителя практики (высококвалифицированных специалистов предприятия, руководителя подразделения – места прохождения практики).

Методическое руководство ПП осуществляется кафедрой сварочного производства.

Руководитель производственной практикой обязан:

- подготовить и выдать каждому студенту задание на практику;
- консультировать студентов по вопросам практики и составлению отчета о проделанной работе;
- проверять качество работы студентов и контролировать выполнение задания;

- обеспечить студентов рабочим местом и необходимыми материалами;
- дать письменный отзыв по отчету каждого студента.

## ВОПРОСЫ

1. Роль мастера сборочно-сварочного участка в цехе.
2. Роль технолога сборочно-сварочного участка.
3. Роль контролера БТК на сборочно-сварочном участке.
4. Роль инженера-плановика сборочно-сварочных работ на участке.
5. Роль распределителя работ на сборочно-сварочном участке.
6. Оснастка (простая и сложная), используемая на сборочно-сварочном участке.
7. Основные и сварочные материалы, применяемые при изготовлении металлоконструкций на участке.
8. Назначение электродного покрытия для штучных электродов.
9. Основные требования к сварочной проволоке для сварки в среде углекислого газа (ГОСТ 2246-70).
10. Сварочное оборудование, применяемое на участке.
11. Назначение и принцип работы газового отсекавателя (электрического и механического).
12. Назначение газового редуктора.
13. Цвет окраски баллонов для углекислого газа, кислорода, ацетилена.
14. Роль и содержание технологического процесса для сборочно-сварочных работ.
15. Принцип работы сварочных трансформаторов, преобразователей, выпрямителей.
16. Устройство сварочных полуавтоматов.
17. Назначение разделки кромок перед сваркой (угол разделки, притупление, зазор и т.д.).
18. Виды контроля качества изготовления изделия на сборочно-сварочном участке.
19. Форма организации и оплаты труда на сборочно-сварочном участке.
20. Организация охраны труда на сборочно-сварочном участке.
21. Виды промышленной вентиляции, имеющейся на сборочно-сварочном участке.
22. Способы перемещения деталей и изделий по участку (между участками).
23. Назначение водяных затворов на постах газораспределения.
24. Меры борьбы с набрызгиванием расплавленного металла на изделие на сборочно-сварочном участке.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Юргинский технологический институт

Факультет                      Механико-машиностроительный  
Кафедра                        Сварочного производства

ОТЧЕТ  
ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ

Руководитель:

Исполнитель ст. гр. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Допущен к защите

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

\_\_\_\_\_  
№ зач. книжки

Защищен с оценкой

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Юрга 20\_\_

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Юргинский технологический институт

«Утверждаю»  
Зав. кафедрой СП  
\_\_\_\_\_ Е.А. Зернин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

ЗАДАНИЕ  
на производственную практику (ознакомительная)

студенту группы \_\_\_\_\_  
Период практики с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_  
Место прохождения практики \_\_\_\_\_

---

Краткое описание и сроки выполнения работ:

1. Изучить содержание СТО ТПУ 2.5.01-2006 и отчет оформить в соответствии с ним.
2. Производственная структура цеха и факторы, ее определяющие.
3. Законы и НТД (нормативно-техническая документация) по охране труда.
4. Описать оборудование и материалы, применяемые при изготовлении сварной конструкции на вашем предприятии.

Представить до \_\_\_\_\_ на кафедру СП к защите подписанный руководителем практики отчет по практике объемом 30 листов.

К отчету необходимо приложить табель учета рабочего времени, характеристику деятельности на предприятии, отзыв с предприятия.

Студент гр. \_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ (Фамилия И.О.)



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Юргинский технологический институт

«Утверждаю»

Зав. кафедрой СП

\_\_\_\_\_ Е.А. Зернин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

ЗАДАНИЕ

на производственную практику (технологическая)

студенту группы \_\_\_\_\_

Период практики с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

Место прохождения практики

Краткое описание и сроки выполнения работ:

1. Описать организационную структуру предприятия.
2. Дефекты сварных швов и способы их устранения.
3. Изучить типовой технологический процесс сборки и сварки.
4. Виды повременной оплаты труда.
5. Виды освещения, нормирование и влияние на человека.

Представить до \_\_\_\_\_ на кафедру СП к защите подписанный руководителем практики отчет по практике объемом 30 листов.

К отчету необходимо приложить табель учета рабочего времени, характеристику деятельности на предприятии, отзыв с предприятия.

Студент гр. \_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_

(Фамилия И.О.)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Юргинский технологический институт

«Утверждаю»

Зав. кафедрой СП

\_\_\_\_\_ Е.А. Зернин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

ЗАДАНИЕ

на производственную практику (конструкторско-технологическая)

студенту группы \_\_\_\_\_

Период практики с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_

Место прохождения практики \_\_\_\_\_

---

Краткое описание и сроки выполнения работ:

1. Описание изделия (эскиз, назначение, технологические свойства).
2. Данные о производстве (тип производства, количество смен и оборудования).
3. Начертить план участка, на котором изготавливается ваше изделие (описать оборудование применяемое на вашем участке).
4. Какие методы контроля качества сварных соединений применяются при изготовлении вашего изделия (описать допустимые и недопустимые виды дефектов).
5. Пути повышения качества и производительности изготовления вашего изделия.

Представить до \_\_\_\_\_ на кафедру СП к защите подписанный руководителем практики отчет по практике объемом 30 листов.

К отчету необходимо приложить табель учета рабочего времени, характеристику деятельности на предприятии, отзыв с предприятия.

Студент гр. \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Фамилия И.О.)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки: Учеб для проф. Учеб. заведений. – 4-е изд., стереотип. – М.: Высш. шк.: Изд. центр «Академия», 2001. – 319 с.: ил.
2. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. / А.И. Акулов, В.П. Алехин. С.И. Ермаков и др. / под ред. А.И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.: ил.
3. Хромченко Ф.А. Справочное пособие электросварщика. – М.: Машиностроение, 2003. – 416 с.: ил.
4. Технология электрической сварки плавлением: учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования / Г.Г. Чернышов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 448 с.
5. Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др. / Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.: ил.
6. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах. / Под общ. ред. Н.П. Алешина. Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. Т.1 / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышов, Э.А. Гладков и др. – 624 с.: ил.
7. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина. Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. Т.2 / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышов, А.И. Акулова и др. – 480 с.: ил.
8. Бубенчиков Ю.М., Федько В.Т. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: учебник. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. – 190 с.
9. Дефекты сварных соединений: учеб. пособие / В.В. Овчинников. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 64 с.
10. Ковалев Г.Д., Федько В.Т. Технологическая прочность и свариваемость металлов. Конспект лекций. Томск / Изд. ТПИ им. С.М. Кирова, 1991. – 59 с.
11. Павлов Н.В., Крюков А.В., Зернин Е.А. Сварка с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов // Сварочное производство. – 2010. – № 4. С. 27–28.
12. Патент РФ на изобретение № 2254969 Механизм импульсной подачи сварочной проволоки/ Брунов О.Г., Федько В.Т., Крюков А.В. и др. Опуб. 27.06.2005. Бюл. № 18.

13. Крюков А.В., Павлов Н.В., Кузьмин Е.С. Определение рациональных параметров автоматической сварки в среде углекислого газа // Сварочное производство. – 2010. – № 8. С. 35 – 36.
14. Павлов Н.В., Крюков А.В., Чинахов Е.С. Определение рациональных параметров автоматической сварки в среде углекислого газа // Тяжелое машиностроение. – 2010. – № 8. С. 25 – 28.
15. Ильященко Д.П., Зернин Е.А. Величина потерь на разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами с использованием различных источников питания // Новые промышленные технологии. № 4. 2009. – С. 50 – 52.
16. Ильященко, Д.П. Определение потерь на разбрызгивание металла при использовании различных источников питания [Текст]/ Д.П. Ильященко, Е.А. Зернин// Сварочное производство. № 6. 2009. – С. 36 – 40.
17. Ильященко, Д.П. Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения [Текст]/ Д.П. Ильященко, С.Б. Сапожков// Сварочное производство. 2007. № 12. – С. 28–31.
18. Ильященко, Д.П. Величина набрызгивания при РДС плавящимся электродом и методы ее снижения [Текст] /Д.П. Ильященко, С.Б. Сапожков// Новые промышленные технологии. № 5. 2009. – С. 25 – 28.
19. Ильященко, Д.П. Источник питания как энерго- и ресурсосберегающий фактор в сварочном производстве [Текст] /Д.П. Ильященко, Д. А. Чинахов// Новые промышленные технологии. № 3. 2010. – С. 40 – 42.

Учебное издание

ВАСИЛЬЕВ Владимир Иванович  
ИЛЬЯЩЕНКО Дмитрий Павлович  
ПАВЛОВ Николай Викторович

## ВВЕДЕНИЕ В ОСНОВЫ СВАРКИ

Учебное пособие

Научный редактор  
*кандидат технических наук О.Г. Брунов*

Редактор *Л.А. Холопова*  
Компьютерная верстка *Ю.В. Сотокина*  
Дизайн обложки *Д.П. Ильященко*


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 24.02.2011. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 18,43. Уч.-изд. л. 16,67.  
Заказ 239-11. Тираж 70 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru