

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

А.А. Воробьев, Д.П. Кононов, А.П. Мойсееня,
И.Ю. Новосельский, А.А. Соболев

**Материаловедение.
Технология конструкционных материалов
(Сварочное производство)**

Учебное пособие

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2025

УДК 389.6: 621.753

ББК 30.10.65.2/4.ц

Воробьев А.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов (сварочное производство): учебное пособие по выполнению лабораторных работ / А.А. Воробьев, Д.П. Кононов, А.П. Мойсееня, И.Ю. Новосельский, А.А. Соболев – СПб: ПГУПС, 2025. - 132 с.

Основной задачей дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» является подготовка студентов в области материаловедения, технологии производства и обработки конструкционных материалов, формообразования заготовок и деталей машин.

Раздел посвящён сварочному производству. В течение последнего столетия сварка стала одним из наиболее распространённых технологических процессов. Решение множества важнейших технических проблем современности неразрывно связано с необходимостью получения сварных соединений, способных работать в различных условиях, в том числе экстремальных.

Сварка предоставляет широкие возможности для оптимизации конструктивных решений, снижения трудоёмкости изготовления конструкций, использования рациональных типов конструктивных элементов, позволяющих существенно уменьшить металлоёмкость. Сварку как один из видов получения неразъёмных соединений широко применяют в различных отраслях техники.

В данном учебном пособии освещены основные вопросы, возникающие при выполнении соединений различными видами электродуговой, электрической контактной и газовой сварки. Рассмотрены особенности сварки сталей различных классов, чугунов и цветных металлов; приведены характеристики оборудования для сварки металлов. Также разобраны возможные деформации и дефекты, которые могут возникнуть при проведении сварочных работ.

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, генеральный директор

ОАО «Тверской вагоностроительный завод»

А.А. Овелян;

Профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»,
доктор технических наук

И.А. Иванов

Воробьев, А. А.

В75 Воробьев А.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов (сварочное производство): учебное пособие по выполнению лабораторных работ / А.А. Воробьев, Д.П. Кононов, А.П. Мойсееня, И.Ю. Новосельский, А.А. Соболев – СПб: ПГУПС, 2025. - 69 с.

В издании приводятся указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Технология конструкционных материалов» (раздел «Сварка»).

Пособие предназначено для подготовки к лабораторным работам, практическим занятиям и как лекционный материал для обучающихся всех форм обучения по укрупненной группе 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта», а именно для специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог» (специализаций: «Пассажирские вагоны», «Грузовые вагоны», «Высокоскоростной наземный транспорт», «Электрический транспорт железных дорог», «Технология производства и ремонта подвижного состава», «Локомотивы», «Вагоны»), специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», (специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование»), направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профиль «Автомобильный сервис», 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» магистерская программа: «Производство и ремонт транспортно-технологических комплексов» и др. специализаций, направлений, профилей и программ.

УДК 621.01

ББК 34.41

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
I. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	6
1. ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРОЧНОЙ ДУГИ.....	6
1.1. Возникновение дуги.....	6
1.2. Строение сварочной дуги при ручной дуговой сварке штучным покрытым электродом	8
1.3. Устойчивое горение дуги	9
1.4. Электрические свойства дуги	11
1.5. Тепловые свойства сварочной дуги	12
1.6. Классификация сварочных дуг	13
1.7. Порядок выполнения работы.....	13
2.8. Контрольные вопросы	15
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ.....	16
2.1. Общие теоретические сведения.....	16
2.1.1. Стыковая контактная сварка	16
2.1.2. Точечная контактная сварка	20
2.1.3. Шовная контактная сварка.....	21
2.2. Порядок выполнения работы.....	23
2.3. Контрольные вопросы	23
3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ. СНЯТИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК	24
3.1. Краткие общие и теоретические сведения	24
3.2. Порядок выполнения работы.....	28
3.3. Содержание отчёта.....	28
3.4. Контрольные вопросы	29
4. РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ШТУЧНЫМ ПОКРЫТЫМ ЭЛЕКТРОДОМ. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СВАРКИ.	29
4.1. Сущность ручной дуговой сварки. Исследование влияния покрытия электродов на качество сварного шва	29
4.2. Определение сварочно-технологических характеристик электродов и производительности сварки.....	31
4.3. Порядок выполнения работы.....	32
4.4. Техника и технология выполнения ручной дуговой сварки	32
5. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКОЙ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА.....	34
5.1. Сущность и особенности способов дуговой сварки в защитных газах.....	35
5.2. Порядок выполнения работы.....	37
5.3. Содержание отчёта.....	37
5.4. Контрольные вопросы	38

6. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ	38
6.1. Особенности процесса дуговой сварки под флюсом	38
6.2. Устройство, принцип действия и технологические возможности автоматов для дуговой сварки под флюсом	39
6.3. Порядок выполнения работы	44
6.4. Содержание отчёта	44
6.5. Контрольные вопросы	44
7. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ НАПЛАВКЕ ПЛАСТИН	44
7.1. Общие сведения	45
7.2. Содержание работы	47
7.3. Порядок выполнения работы	49
7.4. Контрольные вопросы	50
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА И КАЧЕСТВА ГАЗОВОЙ СВАРКИ	51
8.1. Содержание работы	51
8.2. Порядок выполнения работы	57
8.3. Контрольные вопросы	58
9. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	58
9.1. Содержание работы	58
9.2. Контрольные вопросы	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69

I. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО)

1. ФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Цель работы – ознакомиться с условиями возникновения, строения, свойствами и условиями устойчивого горения электрической сварочной дуги.

Задача работы: получение практических навыков по зажиганию, поддержанию устойчивого горения сварочной дуги при ручной дуговой сварке плавящимися и неплавящимися электродами на постоянном и переменном токе.

1.1. Возникновение дуги

Электрическая сварочная дуга используется в качестве концентрированного источника тепла при ручной, полуавтоматической и автоматической сварке.

Сварочная дуга – это мощный, стабильный разряд электричества в сильно ионизированной атмосфере газов и паров металлов, характеризующийся высокой плотностью тока, высокой температурой и ослепительным световым излучением.

В обычных условиях газы являются изоляторами и не проводят электрический ток. Чтобы ток пошёл через газ, последний должен содержать достаточное количество электронов и ионов. Ионизация газа между электродом и деталью достигается путём эмиссии электронов с поверхности катода. Эмиссия электронов может быть:

- а) термоэлектронной, когда электроны отрываются от раскалённого катода;
- б) автоэлектронной, вызываемой действием силового электрического поля;
- в) фотоэлектронной, вызываемой действием световых лучей дуги на поверхность катодного пятна;
- г) от ударов положительных ионов о поверхность катода.

При зажигании дуги ионизация газа между электродами происходит за счёт термо- и автоэлектронной эмиссии. Электроны, движущиеся с большой скоростью, встречаясь с нейтральными атомами газа, оказывают на них ударное действие, выбивая электроны и ионизируя при этом атом. Ионизация соударением является основным видом ионизации, обуславливающим возникновение дугового разряда в газах. Ионизация поддерживается в процессе горения дуги.

Электрод и свариваемая деталь подключаются к источнику питания дуги. Для зажигания дуги нужно прикоснуться оголённым торцом электрода к очищенной детали, замыкая сварочную цепь, и сразу отвести электрод на расстояние от 1 до 5 мм. Мгновенно разогревается торец электрода и точка

касания на детали, происходит термо и автоэлектронная эмиссия. Сгорают частицы электродного покрытия, выделяются газы. Молекулы газов и паров металлов соударяются с электронами, при этом образуются новые электроны и ионы (рис. 1.1). Расстояние между электродом и деталью называется длиной дуги, она гаснет при расстоянии более 10 мм.

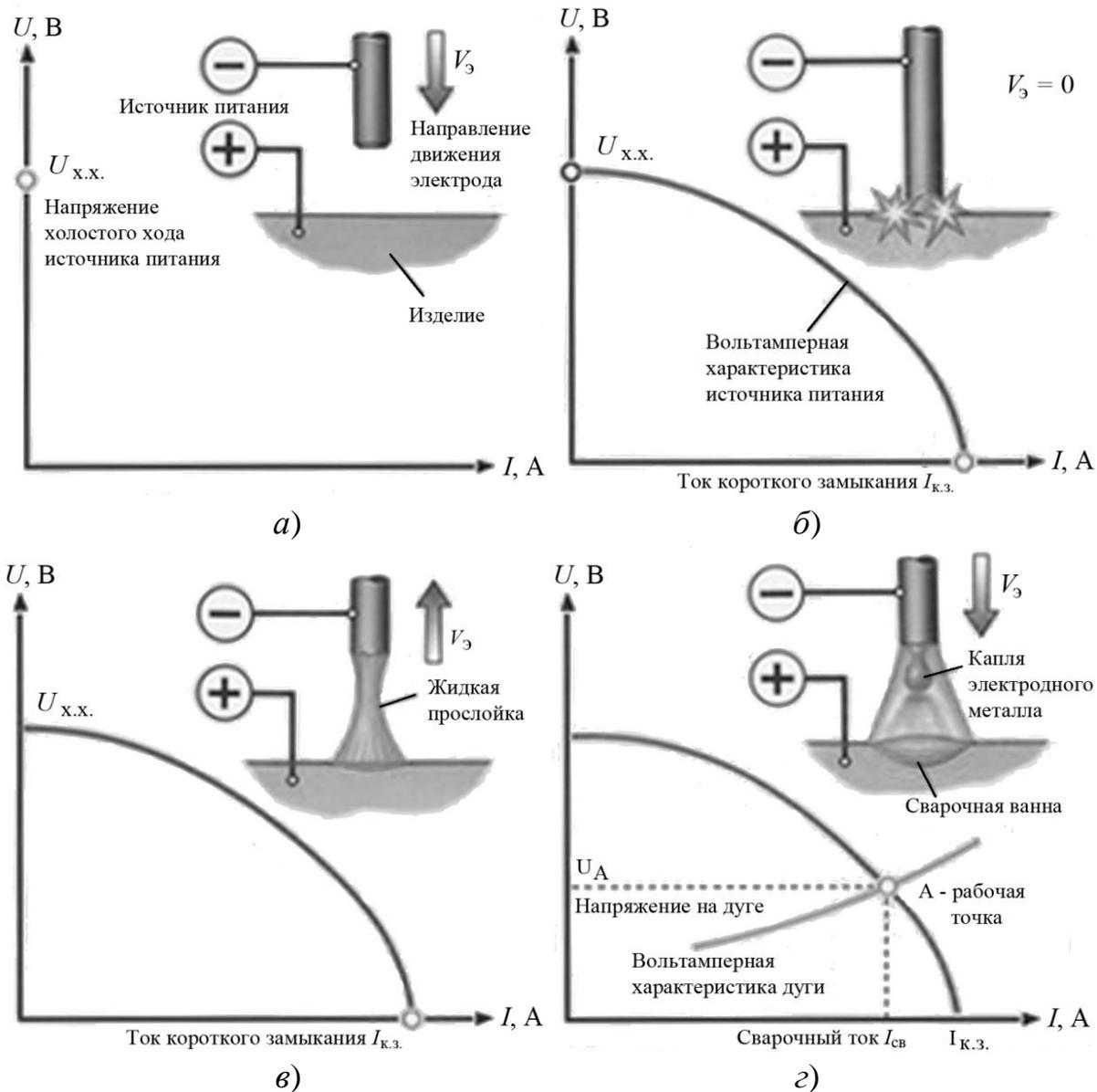


Рис. 1.1. Образование сварочной дуги:

- а* – режим холостого хода; *б* – режим короткого замыкания;
- в* – образование жидкой прослойки и шейки; *г* – возникновение дуги

При ионизации газа в дуговом промежутке происходит отрыв электронов от ядра и образование положительных ионов. При этом также начинает действовать механизм фотоэлектронной эмиссии. Энергия, затрачиваемая на отрыв электрона, называется работой ионизации. Работа ионизации, выраженная в электро-вольтах, называется *потенциалом ионизации*. Различные элементы имеют свой потенциал ионизации.

При сварке в дуговом промежутке находится смесь газов и паров, поэтому ионизация газов, входящих в смесь, протекает иначе, чем отдельного газа. В связи с этим вводится понятие *эффективного потенциала ионизации*. Под ним понимают потенциал ионизации некоторого однородного газа, при одинаковых условиях образующего такое же количество заряженных частиц, как и газовая смесь (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Эффективный потенциал ионизации

Материал электродного покрытия	Na	Cs	O ₂	He	Ca
Эффективный потенциал ионизации	5,1	3,8	12,5	24,47	6,1

Введение в атмосферу дуги веществ с низким потенциалом ионизации способствует стабильности дугового разряда.

1.2. Строение сварочной дуги при ручной дуговой сварке штучным покрытым электродом

В сварочной дуге дуговой промежуток делится на три основные области: катодную (l_k), анодную (l_a) и столб дуги ($l_{ст}$) (рис. 1.2). Основаниями столба дуги являются резко ограниченные области на поверхности электродов – катодное и анодное пятна, которые обладают ослепительной яркостью, превышающей яркость столба дуги.

Катодная область является источником электронов, ионизирующих газы в дуговом промежутке. В свою очередь ионы бомбардируют катод, который получает значительное количество энергии. Материал катода нагревается, плавится и испаряется. Температура в катодной области достигает 2400...3200 °С. Анодная область бомбардируется электронами. Здесь температура нагрева достигает 2600...3900 °С. Меньшие температуры соответствуют металлическим электродам, большие – угольным.

Температура в столбе дуги достигает 6000...7000 °С и зависит от состава газовой среды дуги, материала, диаметра электрода и плотности тока. Температуру столба дуги приблизительно можно определить по формуле:

$$T_{ст} = 810 \cdot V_{эф}, \quad (1)$$

где $T_{ст}$ – температура столба дуги, °С;

$V_{эф}$ – эффективный потенциал ионизации, эВ.

Общая длина сварочной дуги равна сумме длин трёх областей:

$$l_d = l_k + l_{ст} + l_a.$$

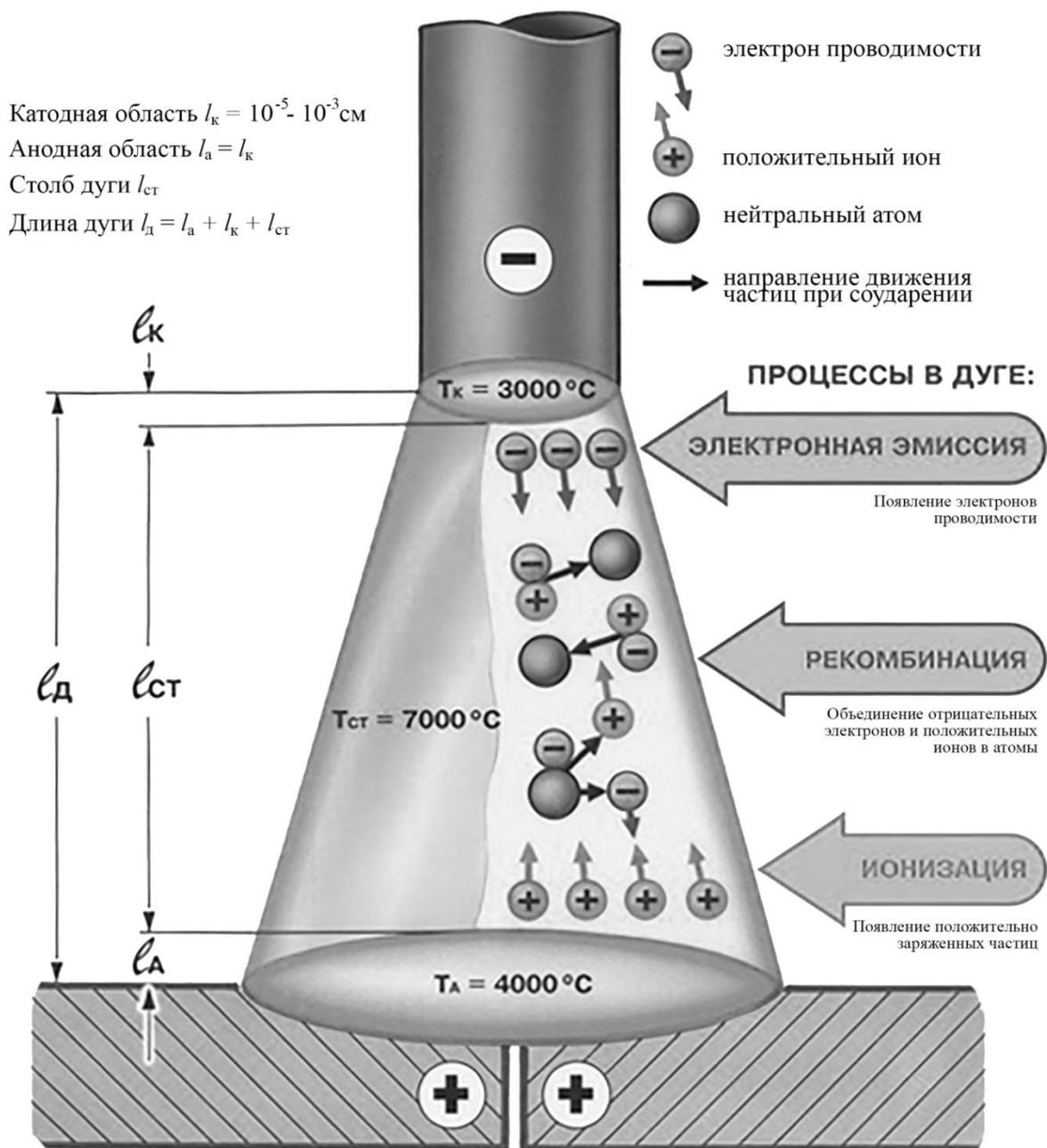


Рис. 1.2. Схема сварочной дуги на постоянном токе с прямой полярностью включения электрода

В зависимости от длины, различают дуги:

- короткую: $l_d = 2 \dots 4$ мм;
- нормальную: $l_d = 4 \dots 6$ мм;
- длинную: $l_d > 6$ мм.

1.3. Устойчивое горение дуги

Устойчивое горение дуги – необходимое условие для получения качественного сварного соединения. Равномерное горение дуги без обрывов, тре-

бующих повторного её зажигания, зависит от ряда факторов: длины дуги, частоты свариваемых кромок, рода и полярности тока, его напряжения и частоты, свойств и состава атмосферы дуги, характеристики источника питания, режима сварки.

Устойчивое горение дуги обеспечивается применением короткой дуги и тщательной очисткой кромок деталей перед сваркой.

На постоянном токе дуга более устойчива, чем на переменном. Сварка выполняется на прямой или обратной полярности. При прямой полярности минус источника тока подключают к электроду, а при обратной полярности – к свариваемому изделию. При сварке на прямой полярности дуга устойчивее. Сварку на обратной полярности применяют в тех случаях, когда требуется уменьшить выделение тепла на свариваемом изделии, например, при сварке тонкого или легкоплавкого металла.

При сварке на переменном токе промышленной частоты направление электронов меняется и горение дуги становится менее устойчивым. В каждом полупериоде ток и напряжение дуги изменяются от нуля до максимума, что влечёт за собой изменение температуры столба дуги и ионизации дугового пространства. Поэтому после прохождения тока через нулевое значение для возбуждения дуги необходимо рост напряжения до значения напряжения при зажигании дуги.

Повысить устойчивость дуги переменного тока можно, увеличив напряжение или частоту. Повышение напряжения нежелательно по условиям техники безопасности. Поэтому увеличивают частоту основного сварочного тока до 150...450 Гц или применяют наложение токов высокой частоты на основной ток дуги, подавая от осциллятора ток частотой 150...450 кГц и напряжением 2500...6000 В, который непрерывно ионизирует дуговой промежуток и способствует устойчивому горению дуги.

Преимуществами дуги переменного тока являются: относительная простота и меньшая стоимость оборудования, отсутствие магнитного дутья и наличие катодного распыления оксидной плёнки при аргонно-дуговой сварке алюминия.

Магнитное дутьё проявляется в отклонении дуги за счёт влияния магнитных полей и ферромагнитных масс, расположенных вблизи дуги. Это приводит к ухудшению формирования шва.

Катодное распыление – это процесс бомбардировки сварочной ванны положительными ионами в том момент, когда изделие является катодом. В результате этого разрушается окисная плёнка.

Влияние свойств и состава атмосферы дуги на устойчивость её горения определяется применяемыми сварочными материалами. Они должны обеспечивать невысокий потенциал ионизации газов и паров металла в дуговом промежутке. Поэтому в покрытия электродов и флюсов вводят такие элементы, как калий, натрий, кальций, обладающие наименьшим потенциалом ионизации.

Сварочная дуга и источник питания дуги образуют взаимосвязанную энергетическую систему, функционирование которой во многом определяется источником питания, призванным обеспечивать лёгкое и надёжное возбуждение дуги, а также устойчивое её горение.

Для обеспечения устойчивого горения дуги основные её параметры - сила тока и напряжение – должны находиться в функциональной зависимости, которая определяет электрические свойства сварочной дуги.

1.4. Электрические свойства дуги

Электрические свойства дуги определяются зависимостью между её током и напряжением в период горения. Это статическая вольт-амперная характеристика сварочной дуги (рис. 1.3).

На участке I увеличение тока до 80 А приводит к резкому падению напряжения. Это обусловлено тем, что увеличение тока вызывает увеличение площади сечения столба дуги и его электропроводности. На этом участке характеристика дуги – падающая. Дуга имеет низкую устойчивость и применяется при ручной дуговой сварке малых толщин.

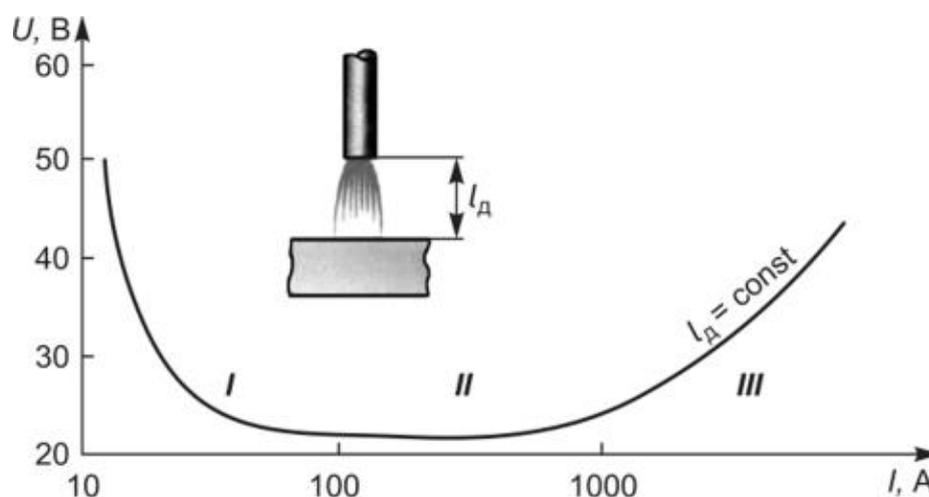


Рис. 1.3. Статическая вольт-амперная характеристика сварочной дуги

На участке II (80...800 А) напряжение дуги не изменяется, что объясняется увеличением столба дуги и активных пятен пропорционально изменению тока. Характеристика дуги – жёсткая. Такая дуга широко применяется в сварочной технике для ручной дуговой сварки, в автоматической сварке под флюсом и др.

На участке III при увеличении тока более 800 А характеристика дуги становится возрастающей, так как увеличение плотности тока происходит без роста катодного пятна, для которого площадь поверхности электрода оказывается уже недостаточной для размещения катодного пятна с нормальной плотностью тока. Такая дуга широко применяется при сварке в среде защитных газов.

Моменту зажигания дуги соответствует напряжение $U_з$, зависящее от силы тока, параметров источника питания дуги, физических свойств электродов, ионизационного потенциала газовой среды и других факторов.

Для зажигания дуги в воздухе между стальными электродами достаточно напряжения 45...50 В, между угольными – 55...65 В. После зажигания дуги напряжение падает и составляет 18...28 В при стальных электродах, 30...40 В – при угольных.

Напряжение дуги связано с длиной дуги линейной зависимостью:

$$U_d = a + b \cdot l_d,$$

где a – сумма падения напряжений на катоде и аноде, В;

b – падение напряжения в столбе дуги, В/мм;

l_d – длина дуги, мм.

Значения a и b зависят от материала электродов и от окружающей среды. Для стальных электродов $a = 15,5$ В, $b = 2,5$ В/мм.

Длина дуги зависит от диаметра электрода $d_э$ и при ручной дуговой сварке металлическим электродом её оптимальное значение составляет

$$l_d = (0,6 \dots 0,8)d_э.$$

1.5. Тепловые свойства сварочной дуги

Полную тепловую мощность сварочной дуги, кал/с, приближённо считают равной тепловому эквиваленту её электрической мощности

$$Q = 0,24 \cdot U_d \cdot I,$$

где Q – тепловой эквивалент электрической мощности сварочной дуги;

0,24 – коэффициент перевода электрических величин в тепловые, кал/Вт·с;

U_d – падение напряжения на дуге, В;

I – величина сварочного тока, А.

Количество тепла, кал/с, введённое сварочной дугой в изделие в процессе его нагрева за единицу времени, называется эффективной мощностью сварочной дуги:

$$q_n = 0,24 \cdot U_d \cdot I \cdot \eta_n, \quad (2)$$

где q_n – эффективная тепловая мощность сварочной дуги;

η_n – эффективный КПД нагрева изделия, характеризующий эффективность процесса выделения теплоты и теплообмена в дуговом промежутке, который зависит от технологических условий сварки (табл. 1.2).

Эффективный коэффициент полезного действия нагрева

Способ сварки	η_n
Открытой дугой металлическими электродами	0,70...0,85
Неплавящимся электродом в защитном газе	0,50...0,60
Под флюсом	0,85...0,95
Электрошлаковый	0,70...0,85

При увеличении длины дуги эффективный КПД падает. Он возрастает с углублением дуги в ванну. При сварке металлическими электродами этот коэффициент мало зависит от рода, полярности и величины сварочного тока.

1.6. Классификация сварочных дуг

Сварочную дугу различают:

- по подключению к источнику питания – прямого действия, косвенного действия, комбинированная (рис. 2.4, а, б, в);
- применяемым электродам – при плавящемся электроде и при неплавящемся электроде (рис. 2.4, г, д);
- степени сжатия дуги – свободная и сжатая (рис. 2.4, е, ж);
- полярности постоянного тока – прямая и обратная (рис. 2.4, з, и);
- длине дуги – короткая, нормальная, длинная (рис. 2.4, к).

Выбор типа дуги зависит от способа сварки и условий её выполнения. Так, дуга прямого действия, горящая между электродом и изделием, используется при сварке: покрытым плавящимся электродом, неплавящимся электродом в защитных газах, плавящимся электродом под флюсом или в защитных газах. Дуга косвенного действия, горящая между двумя электродами, применяется при специальных видах сварки и атомно-водородной сварке и наплавке. Комбинированная дуга, представляющая два дуговых разряда между электродами и изделием, а третий – между электродами, используется при сварке спиралешовных труб на станках автоматической сварки под флюсом.

1.7. Порядок выполнения работы

1. Определить температуру столба дуги, горящей в парах Na, Ca, Cs, He, O₂, пользуясь формулой (1) и табл. 1.1.
2. Выбрать величину сварочного тока, пользуясь формулой

$$I_{св} = k \cdot d_э,$$

где k – коэффициент, зависящий от диаметра металлического стержня электрода $d_э$. Определяется по табл. 1.3.

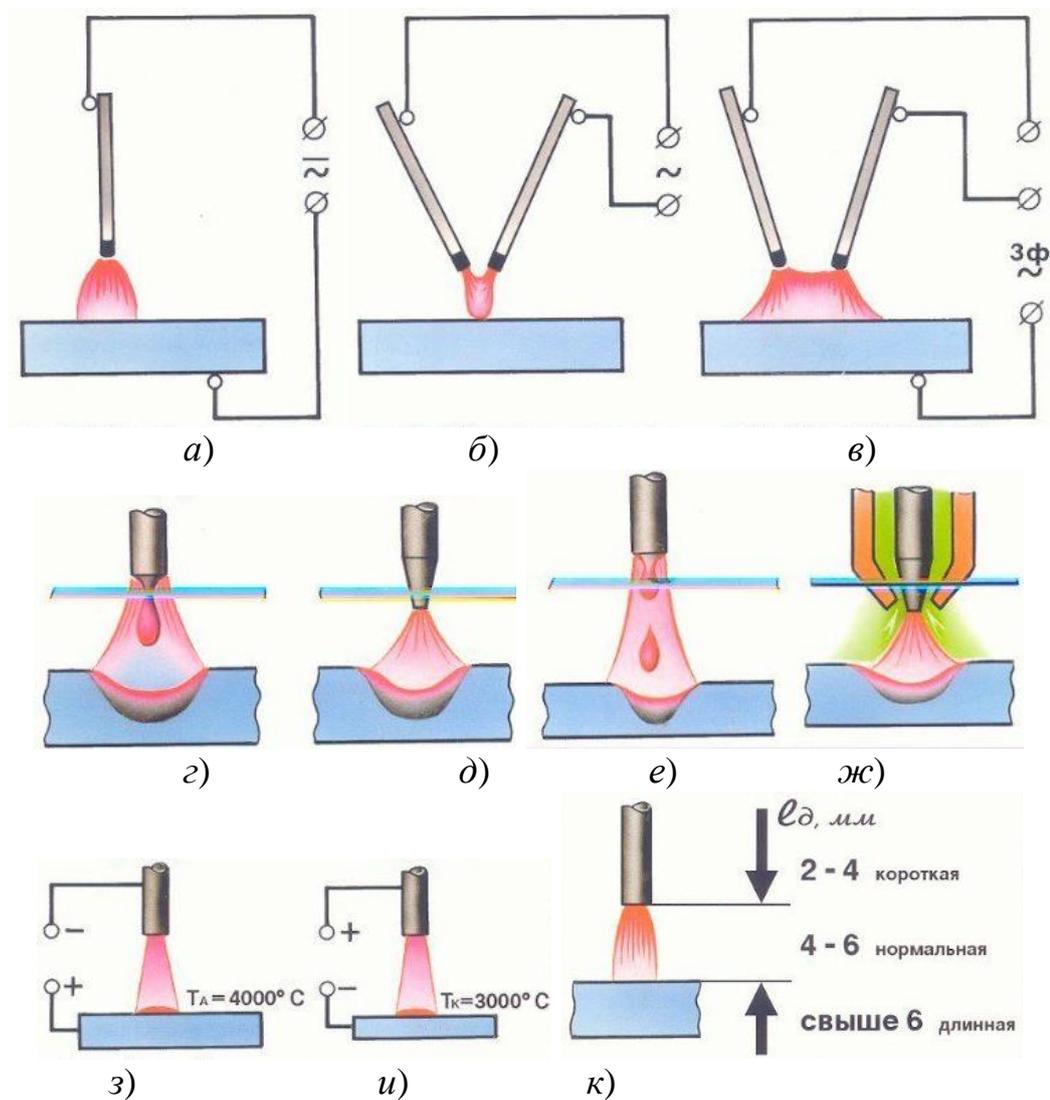


Рис. 1.4. Разновидности сварочной дуги:

a – прямого действия; *б* – косвенного действия; *в* – комбинированная;
г – при плавящемся электроде; *д* – при неплавящемся электроде;
е – свободная; *ж* – сжатая; *з* – прямая; *и* – обратная; *к* – по длине

Таблица 1.3

Зависимость коэффициента k от диаметра
металлического стержня электрода

d_3 , мм	1...2	3...4	5...6
k , А/мм	25...30	30...45	45...60

3. Выполнить наплавку пластины из малоуглеродистой стали штучными электродами при выбранной силе тока в следующих условиях:

- 1) $d_3 = 3$ мм, постоянный ток, прямая полярность;
- 2) $d_3 = 3$ мм, постоянный ток, прямая полярность, длина дуги < 4 мм;
- 3) $d_3 = 3$ мм, постоянный ток, прямая полярность, длина дуги > 6 мм;
- 4) $d_3 = 5$ мм, постоянный ток, прямая полярность;

- 5) $d_3 = 3$ мм, постоянный ток, обратная полярность;
- 6) $d_3 = 5$ мм, постоянный ток, обратная полярность;
- 7) $d_3 = 3$ мм, переменный ток;
- 8) $d_3 = 3$ мм, переменный ток, длина дуги < 4 мм;
- 9) $d_3 = 3$ мм, переменный ток, длина дуги > 6 мм;
- 10) $d_3 = 5$ мм, переменный ток.

В процессе наплавки зафиксировать по показаниям приборов силу сварочного тока и напряжение дуги. Данные занести в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Результаты экспериментов

№ режима	Электрод			Ток			Напряжение дуги U, В	Эффективная тепловая мощность q_n , кал/с
	Тип	Марка	Диаметр	Род	Полярность	Сила $I_{св}$, А		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

4. Определить эффективную тепловую мощность дуги, пользуясь формулой (2) и табл. 1.2.

5. Заполнить табл. 1.4.

6. Сделать выводы о влиянии на эффективную тепловую мощность дуги: диаметра электрода, рода тока, полярности постоянного тока, длины дуги.

2.8. Контрольные вопросы

1. Дайте определение сварочной дуги.
2. Каковы условия возникновения сварочной дуги?
3. Какие виды эмиссии электронов катодом осуществляются в дуговом промежутке?
4. Укажите этапы зажигания дуги при сварке плавящимся электродом.
5. Приведите схему сварочной дуги.
6. Что называется статической вольт-амперной характеристикой сварочной дуги?
7. Какова длина дуги – короткой, нормальной, длинной?
8. Факторы, влияющие на устойчивость горения дуги.
9. Способы повышения устойчивости дуги переменного тока.
10. Что называется эффективным потенциалом ионизации?
11. Каково напряжение сварочной дуги?

12. Что называется эффективной тепловой мощностью?
13. Что характеризует эффективный КПД нагрева и от чего он зависит?
14. Каковы разновидности сварочной дуги?
15. Как выбрать силу сварочного тока?

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Цель работы: ознакомиться с основами технологии электрической контактной сварки.

Задача работы: изучить имеющиеся в лаборатории стыковую, точечную и шовную машины, произвести сварку стыковую для нескольких стержней и точечную внахлест для листов нержавеющей стали.

2.1. Общие теоретические сведения

Электрическая контактная сварка – это технологический процесс получения неразъемного соединения металлических заготовок путем нагрева электрическим током, проходящем в месте их контакта, до пластического состояния (или до оплавления торцов) и последующего совместного сдавливания (осадки).

Контактная сварка относится к классу термомеханических и включает в себя:

- стыковую;
- точечную;
- шовную;
- рельефную.

Контактная сварка характеризуется большой скоростью нагрева и резкими градиентами температур.

2.1.1. Стыковая контактная сварка

При стыковой сварке *сопротивлением* (рис. 2.1) заготовки 1 закрепляются в зажимах машины – токоподводах 2, один из которых при опрессовке перемещается. При сварке сначала осуществляют предварительную осадку усилием $P_{ос}$ и подают напряжение на вторичную обмотку трансформатора 4, что вызывает появление тока I_2 во вторичном контуре. После разогрева материала производят окончательную осадку, в результате чего происходит образование сварного соединения в твёрдом состоянии.

Температура разогрева T_p зависит от температуры плавления материала $T_{пл}$:

$$T_p = (0,8 \dots 0,9)T_{пл}, \text{ } ^\circ\text{K}.$$

Для низкоуглеродистой стали она составляет 1473...1623 °К и называется температурой белого каления.

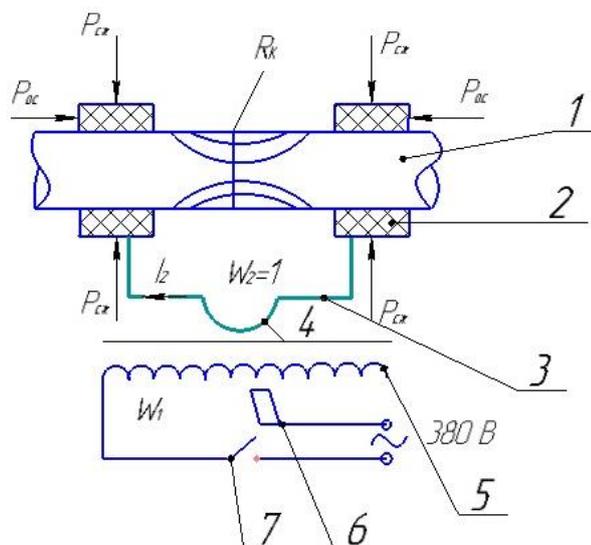


Рис. 2.1. Схема стыковой контактной сварки:

1 – свариваемые изделия; 2 – токоподводящие зажимы из меди; 3 – токоведущие шины из меди; 4 – вторичная обмотка трансформатора из одного или двух витков, охлаждаемая водой; 5 – первичная обмотка трансформатора; 6 – регулятор тока; 7 – прерыватель тока; $P_{ос}$ – осаживающее устройство; $P_{сж}$ – усилие сжатия изделий токоподводящими зажимами

Выделившаяся теплота находится по закону Джоуля – Ленца, Дж:

$$Q = \int_0^{t_{св}} I^2(t) \cdot R(t) \cdot t \cdot dt,$$

где: $I(t)$ – ток сварки, А;

$R(t)$ – электрическое сопротивление всей вторичной цепи, зависящее от температуры во времени t ;

$t_{св}$ – время сварки, с.

Приближённая формула:

$$Q \approx 0,24 \cdot K \cdot I^2 \cdot R \cdot t,$$

где: K – коэффициент снижения мощности дуги при сварке на переменном токе, $K = 0,7 \dots 0,97$.

Электрическое сопротивление всей вторичной цепи определяется по формуле:

$$R = R_{ц} + R_{к},$$

где $R_{к}$ – сопротивление в зоне контакта деталей: $R_{к} \approx 1 \cdot 10^{-4}$ Ом;

$R_{ц}$ – сопротивление вторичной цепи.

Чтобы все тепло выделилось в зоне контакте, должно быть выполнено условие:

$$R_{ц} \ll R_{к}.$$

Для этого вся вторичная цепь: вторичная обмотка, токоподводы и зажимы должны быть изготовлены из меди и иметь большую площадь поперечного сечения.

При стыковой сварке сопротивлением не обеспечивается равнопрочное соединение из-за отдельных окислов и неравномерного нагрева всего сечения. Поэтому она рекомендуется только для неответственных деталей с максимальным сечением $\leq 250 \text{ мм}^2$ или для заготовок сплошного сечения диаметром $\leq 18 \text{ мм}$. Свариваемые изделия: арматура, профильный прокат, уголки, тавр, трубы, провода, рельсы.

В таблице 2.1 даны рекомендации по выбору припусков и параметров режима стыковой контактной сварки сопротивлением.

Таблица 2.1

Параметры режима стыковой сварки сопротивлением для круглых и квадратных заготовок из углеродистой стали при $P_{oc} = 10...30 \text{ МПа}$

Параметр режима сварки	Площадь поперечного сечения заготовки, мм^2			
	7	25	50	100
Установленная длина на обе заготовки, мм	7	12	16	100
Припуск на осадку, мм:				
общий	1,2	2,5	2,7	3,0
под током	1,6	1,7	1,8	2,0
без тока	0,6	0,8	0,9	1,0
Плотность тока, А/мм^2	300	200	160	140
Время нагрева, с	0,2...0,3	0,6...0,8	0,8...1,0	1,0...1,5

Для заготовок с другой площадью поперечного сечения можно пользоваться интерполяционным методом с учётом значений табл. 2.1.

При сварке *оплавлением* заготовки сближаются лишь до лёгкого соприкосновения друг с другом, пропускается ток, и образуются перемычки жидкого металла, которые затем взрываются в результате пинч-эффекта. Далее торцы полностью оплавляются и при последующей опрессовке жидкий металл с возможными загрязнениями и окислами выдавливается. Для более равномерного нагрева деталей применяют предварительный подогрев током, непосредственно пропускаемым через заготовки. Площадь сечения заготовок в зоне сварки может составлять $100\ 000 \text{ мм}^2$. Так свариваются ответственные детали, например, рельсы.

В табл. 2.2 приведены рекомендации по выбору припусков и параметров режима стыковой контактной сварки оплавлением.

Сила сварочного тока определяется как и при сварке сопротивлением. Плотность тока для стальных заготовок при сварке непрерывным оплавлением составляет $3...500 \text{ А/мм}^2$, а при сварке с подогревом – $3...15 \text{ А/мм}^2$ (нижние пределы соответствуют сварке заготовок большого сечения. Давление осадки дано в табл. 2.3.

Таблица 2.2

Припуски, мм, при стыковой сварке оплавлением стержней из низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей (на оба стержня)

Диаметр стержня, мм	Площадь сечения, мм ²	Припуск при сварке с подогревом			Припуск при сварке непрерывным оплавлением		
		общий	на оплавление	на осадку	общий	на оплавление	на осадку
5	20	-	-	-	6	4,0	2,0
10	78	7,3	5,0	2,3	8	5,7	2,3
14	154	9,3	6,5	2,8	12	9,5	2,5
18	254	11,2	8,0	3,2	16	13,0	3,0
22	380	12,6	9,0	3,6	18	14,8	3,2
26	530	15,0	11,2	3,8	22	18,5	3,5
30	707	16,0	12,0	4,0	25	21,5	3,5

Примечания. 1. Суммарная установочная длина равна 1,5 диаметра стержня при сварке низкоуглеродистых сталей и 2...2,4 диаметра стержня при сварке низколегированных сталей.

2. Припуск на осадку под током составляет 40...50% общего припуска на осадку.

Таблица 2.3

Давление осадки при сварке оплавлением

Сталь	Способ сварки	
	непрерывным оплавлением	оплавлением с подогревом
Низкоуглеродистая	60...80	40...60
Среднеуглеродистая	80...120	40...60
Высокоуглеродистая	100...120	40...60
Низколегированная	100...120	40...60
Ферритная	100...180	60...80
Аустенитная	150...220	100...140

На рис. 2.2 представлена схема машины для стыковой сварки с основными элементами.

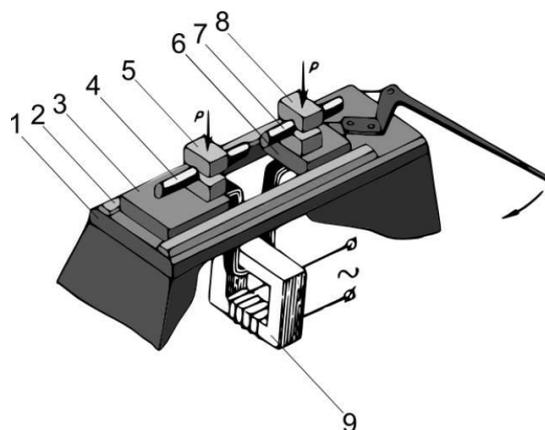


Рис. 2.2. Схема машины для стыковой контактной сварки:

1 – станина машины; 2 – направляющие; 3 – неподвижная плита; 4, 7 – свариваемые заготовки; 5, 8 – зажимы-электроды; 6 – подвижная плита; 9 – сварочный трансформатор; P – сжимающее усилие

2.1.2. Точечная контактная сварка

Точечная сварка (рис. 2.3) применяется для получения нахлесточных соединений из листов 1, которые сжимаются электродами-токоподводами 2, связанными с трансформатором, при включении которого заготовки нагреваются кратковременным импульсом тока продолжительностью 0,01...0,5 с до появления расплавленной зоны или ядра точки. Глубина проплавления должна составлять 30...80% от суммы толщин листов. В ряде случаев требуется проковка уже закристаллизовавшегося ядра.

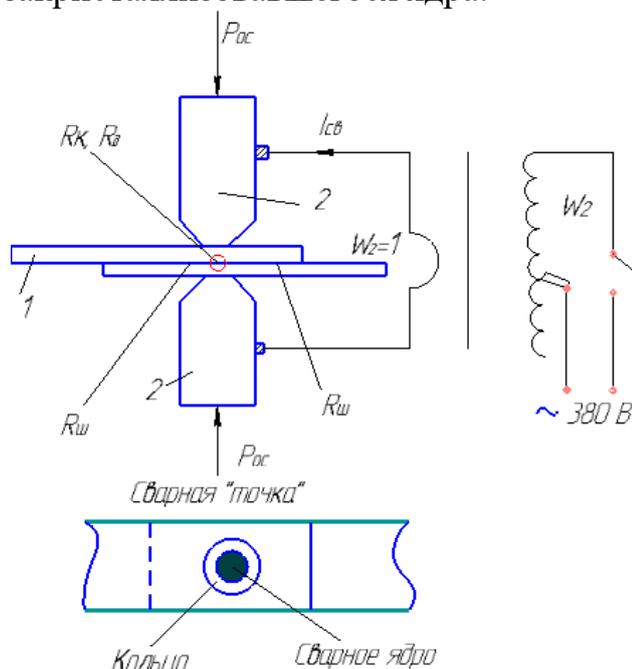


Рис. 2.3. Схема точечной контактной сварки:

1 – свариваемые заготовки; 2 – электроды-токоподводы

На рис. 2.4 представлена схема машины для точечной сварки. К механической части этой машины относятся корпус 2, внутри которого размещены все основные элементы и узлы машины, пневматический привод сжатия электродов 6 с направляющими устройствами 7, нижний кронштейн 3 с консолью 4 и электрододержателем 5, пневматическое устройство 8 и система водяного охлаждения 1, обеспечивающая охлаждение сварочного контура и силового контактора.

Электрическая часть включает в себя источник питания – сварочный трансформатор 9 с переключателем ступеней 10 и сварочный контур, к элементам которого относится токоподвод 11 с верхними и нижними консолями с электрододержателями и электродами. К электрической части машины относятся и аппаратура управления сварочными процессами 12. Это устройство обеспечивает коммутацию первичного тока сварочного трансформатора, регулирование режимов сварки и выполнение заданной последовательности всех сварочных операций различными механизмами перемещения вспомогательных устройств.

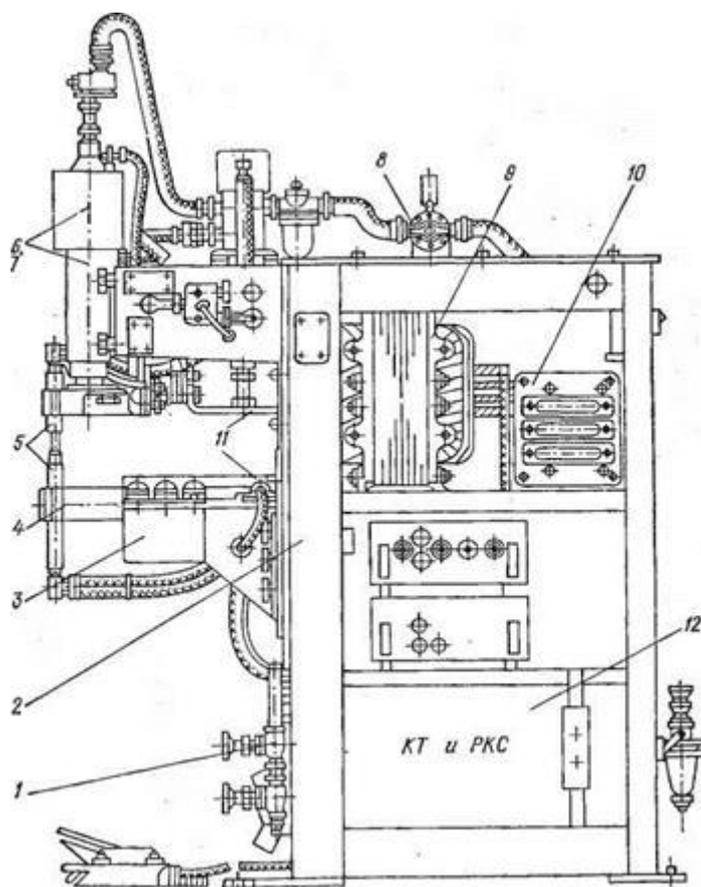


Рис. 2.4. Машина для точечной сварки:

1 – система водяного охлаждения; 2 – корпус; 3 – нижний кронштейн; 4 – консоль; 5 – электрододержатель; 6 – пневматический привод сжатия электродов; 7 – направляющее устройство; 8 – пневматическое устройство; 9 – сварочный трансформатор; 10 – переключатель ступеней; 11 – токоподвод; 12 – аппаратура управления сварочными процессами

Параметры режима точечной сварки приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Параметры режима точечной сварки низкоуглеродистой стали

Параметр режима сварки	Толщина заготовок, мм			
	0,5 + 0,5	1,0 + 1,0	1,5 + 1,5	2,0 + 2,0
Диаметр контактной поверхности, мм:				
начальный	5	5	6	7
перед зашлифовкой	6	6	7	8
Продолжительность прохождения сварочного тока, с	0,2...0,3	0,2...0,3	0,25...0,35	0,4...0,6
Усилие на электродах, Н	300...400	800...1200	1200...1600	1600...2000
Сила тока, кА	4...5	6...7	7...8	8...9

2.1.3. Шовная контактная сварка

При шовной сварке (рис. 2.5) ставятся точки с перекрытием, что достигается подачей напряжения на трансформатор через определённые промежутки времени. Подвод тока и передача усилия опрессовки к заготовкам осуществляется через вращающиеся дисковые электроды – ролики. По поло-

жению роликов в момент прохождения тока различают непрерывную и шаговую (прерывистую) шовную сварку. Если в первом случае ток проходит при вращающихся роликах, то во втором – при неподвижных.

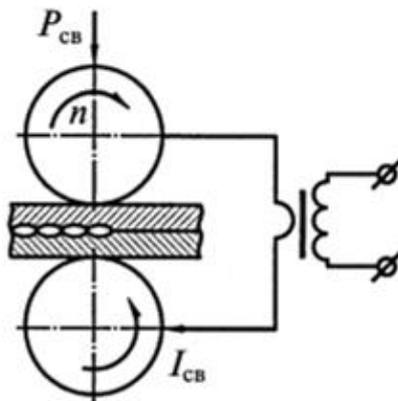


Рис. 2.5. Схема шовной контактной сварки

На рис. 2.6 показана схема машины для шовной сварки. Параметры режима шовной сварки приведены в табл. 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5

Параметры режима непрерывной шовной сварки низкоуглеродистой стали

Параметр режима сварки	Толщина заготовок, мм					
	0,2 + 0,2	0,5 + 0,5	1,0 + 1,0	0,2 + 0,2	0,5 + 0,5	1,0 + 1,0
Ширина роликов, мм	4	5	5	4	5	5
Усилие сжатия, Н	800	1000	1200	800	1000	1200
Скорость сварки, м/мин.	1,0			1,5		
Сила тока, А	2500	3000	3500	3000	3500	5000

Таблица 2.6

Параметры режима прерывистой шовной сварки низкоуглеродистой стали

Параметр режима сварки	Толщина заготовок, мм				
	0,25 + 0,25	0,5 + 0,5	0,75 + 0,75	1,0 + 1,0	1,25 + 1,25
Ширина контактной поверхности, мм	5	5	6	6	8,5
Усилие сжатия, Н	175	225	300	400	450
Продолжительность включения тока	0,04	0,04	0,06	0,06	0,08
Приблизительное число прерываний:					
в секунду	16	12,5	10	8	7
на 1 мм шва	500	400	333	386	252
Сила тока, А	8000	11000	13000	15000	16500
Примерный шаг точек, мм	2	2,5	3	3,5	3,9

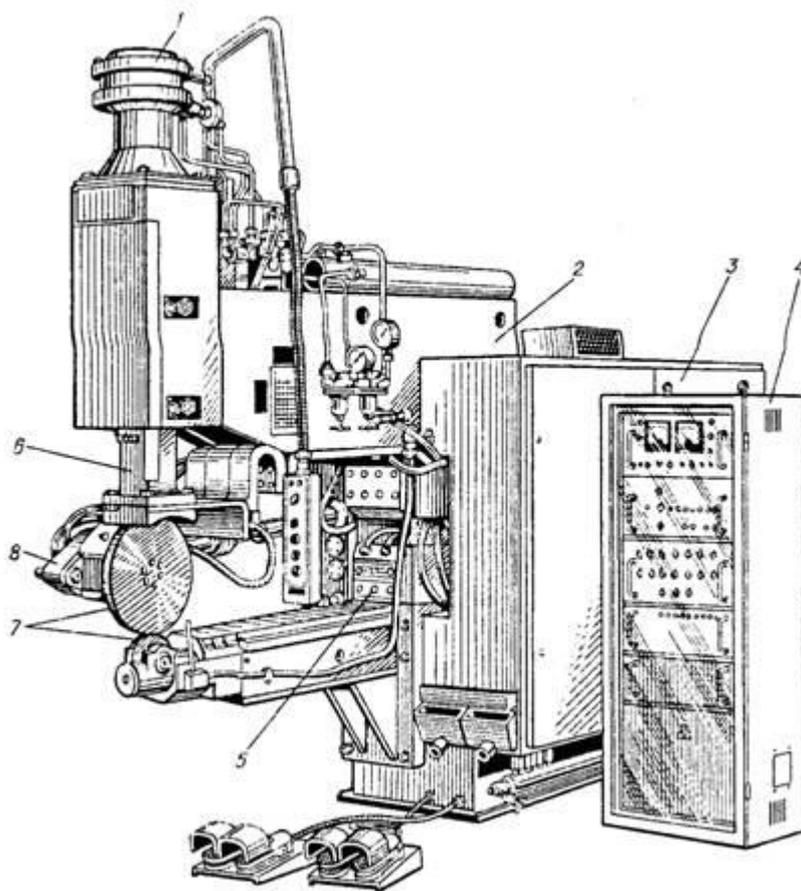


Рис. 2.6. Машина для шовной сварки:
 1 – привод для сжатия электродов; 2 – корпус; 3 – выпрямитель;
 4 – шкаф управления; 5 – вторичный контур; 6 – направляющая;
 7 – электроды-ролики; 8 – привод роликов

2.2. Порядок выполнения работы

При помощи измерительных приборов осуществляется подбор параметров режима всех разновидностей контактной сварки на основе приведённых табличных данных. Затем заготовки свариваются, и контролируется качество сварных соединений. Данные сводятся в единую таблицу 2.7.

2.3. Контрольные вопросы

1. В чём принципиальное отличие стыковой сварки сопротивлением от стыковой сварки оплавлением?
2. В чём состоит физическая сущность стыковой, точечной и шовной сварки?
3. Какие существуют основные параметры режима всех разновидностей электрической контактной сварки?
4. Какова область применения электрической контактной сварки?

Исходные данные и параметры режима сварки

1. Стыковая сварка									
Исходные данные			Параметры режима сварки						
Материал	Диаметр заготовки	Площадь поперечного сечения, мм ²	Длина вылета заготовки, мм	Плотность тока, А/мм ²	Сила тока, А	Давление осадки, МПа	Усилие осадки, Н	Вторичное напряжение, В	Сопротивление сварочной цепи, Ом
2. Точечная сварка									
Материал	Толщина заготовки, мм	Диаметр контактной поверхности, мм	Усилие сжатия, Н	Продолжительность прохождения сварочного тока, с	Сила тока, А	Вторичное напряжение, В			
3. Шовная сварка									
Материал	Толщина заготовки, мм	Ширина роликов, мм	Усилие сжатия, Н	Скорость сварки, м/мин	Сила тока, А	Вторичное напряжение, В			

3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ. СНЯТИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы: изучить схемы и конструкции источников питания переменного и постоянного тока, а также снять и построить их внешние характеристики.

3.1. Краткие общие и теоретические сведения

Источником теплоты при дуговой сварке является электрическая дуга, в которой электрическая энергия преобразуется в тепловую. Для питания сварочной дуги применяют специальные источники тока, отвечающие определенным техническим требованиям:

- напряжение холостого хода должно быть достаточным для зажигания дуги, но не превышать значений, безопасных для сварщика;
- источники питания должны быть снабжены специальным устройством для регулирования сварочного тока в регламентированных пределах;
- источники питания должны иметь заданную внешнюю характеристику.

Внешней характеристикой источника называется зависимость напряжения на дуге U от величины сварочного тока I (рис. 3.1).

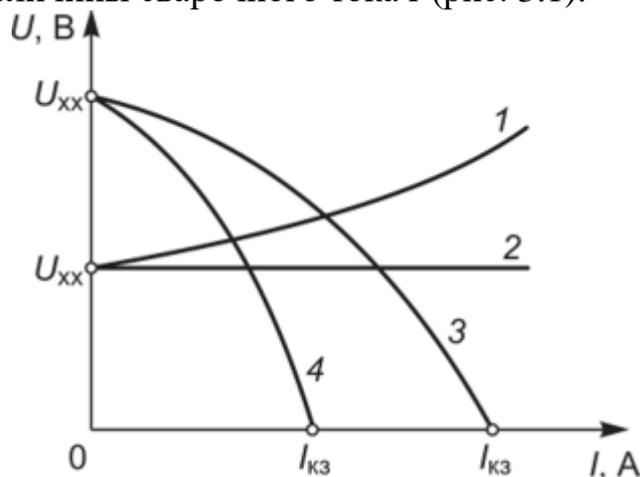


Рис. 3.1. Внешние характеристики источников сварочного тока: 1 – возрастающая; 2 – жёсткая; 3 – пологопадающая; 4 – крутопадающая

По виду внешней характеристики источники тока классифицируются как источники с крутопадающей, пологопадающей, жесткой и возрастающей характеристикой. Некоторые источники при переключении режима работы могут иметь крутопадающую и жесткую характеристики. Такие источники называются универсальными. В зависимости от количества постов они могут быть однопостовыми или многопостовыми. К однопостовому может быть подключен только один сварочный пост, к многопостовому – несколько одновременно.

Источники тока с крутопадающей внешней характеристикой используются при дуговой ручной сварке. Пологопадающую характеристику имеют источники питания автоматов для сварки под флюсом. Источники с жёсткой и возрастающей внешними характеристиками работают совместно с полуавтоматами для дуговой сварки в защитном газе.

По роду тока источники делятся на две группы: источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и источники постоянного тока (сварочные преобразователи (инверторы) и выпрямители).

Сварочный трансформатор состоит из трансформаторного пакета с первичной (сетевой) и вторичной (сварочной) обмотками. Схема его дана на рис. 3.2. В конструкции трансформатора предусмотрено перемещение одной из обмоток относительно другой.

Напряжение на дуге можно принять равным напряжению на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_d = \sqrt{U_{хх}^2 - I^2 \cdot X^2}, \quad (3)$$

где U_d – напряжение на дуге;

$U_{хх}$ – напряжение холостого хода во вторичной обмотке;

I – сварочный ток;

X – индуктивное сопротивление.

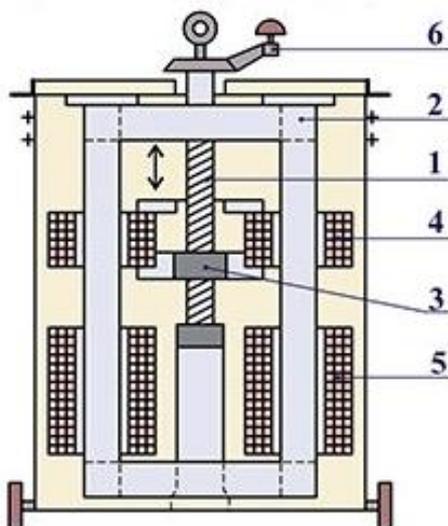


Рис. 3.2. Принципиальная схема сварочного трансформатора с раздвижными катушками:
 1 – ходовой винт; 2 – магнитопровод; 3 – ходовая гайка;
 4 – вторичная обмотка; 5 – первичная обмотка; 6 – рукоятка

Крутопадающая внешняя характеристика трансформатора с увеличенным магнитным рассеянием создаётся за счёт падения напряжения на индуктивном сопротивлении. Так, с возрастанием тока в сварочной цепи произведение квадрата тока на квадрат индуктивного сопротивления увеличивается (ф. (3)), а подкоренное выражение уменьшается – напряжение на дуге снижается.

Величина сварочного тока определяется по формуле:

$$I = \frac{\sqrt{U_{\text{xx}}^2 - U_{\text{д}}^2}}{X} \quad (4)$$

Регулирование сварочного тока осуществляется за счёт изменения индуктивного сопротивления, значения которого зависят от электрических и геометрических параметров трансформатора:

$$X = \frac{\omega \cdot W_2^2 \cdot \sigma}{R_{\mu}} \quad (5)$$

где ω – угловая частота тока: $\omega = 2\pi f$;

f – частота тока;

W_2 – число витков во вторичной обмотке;

σ – коэффициент магнитного рассеяния;

R_{μ} – эквивалент магнитного сопротивления потоку рассеяния.

Если учесть, что угловая частота постоянна, а эквивалент меняется незначительно, следовательно индуктивное сопротивление зависит от числа витков во вторичной обмотке трансформатора и коэффициента магнитного рассеяния. Этот коэффициент находится в прямой зависимости от расстояния между первичной и вторичной обмотками. С увеличением расстояния между обмотками он возрастает, и вместе с ним, согласно выражению (5), повышается индуктивное сопротивление, что, в свою очередь, в соответствии с формулой (4) ведёт к уменьшению сварочного тока.

Таким образом, плавное регулирование сварочного тока осуществляют за счёт сближения или удаления обмоток трансформатора. Ступенчатую регулировку тока производят переключением числа витков во вторичной обмотке трансформатора.

Блок-схема сварочного инвертора приведена на рис. 3.3.

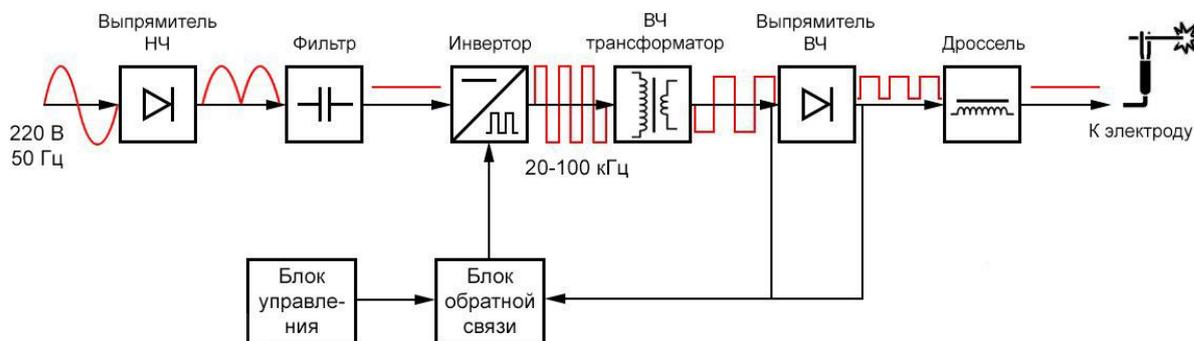


Рис. 3.3. Блок-схема сварочного инверторного аппарата

В первичном низкочастотном выпрямителе переменное напряжение преобразуется в постоянное, которое подается на вход инвертора. Инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное напряжение высокой частоты (десятки кГц). Высокочастотный трансформатор понижает напряжение и увеличивает ток, который может превышать 250 А. Вторичный выпрямитель преобразует переменное напряжение в постоянное, а дроссель завершает преобразование и на электрод уходит постоянный ток (рис. 3.3).

Работой всех элементов такого сварочного аппарата, отличающегося компактными габаритами, небольшим весом и высокой мощностью, управляет специальный ШИМ-контроллер. Электрические сигналы поступают на контроллер от операционного усилителя, питающегося выходным током самого инвертора. На основе характеристик этих сигналов контроллер формирует корректирующие выходные сигналы, которые могут подаваться на диоды выпрямителя и транзисторы инверторного блока – генератора высокочастотных электрических импульсов.

Сварочный выпрямитель (рис. 3.4) состоит из понижающего трансформатора трёхфазного тока с неподвижной 2 и подвижной 5 обмотками, механизма перемещения подвижной обмотки 4 и блока полупроводниковых вентилей 6.

Внешняя характеристика выпрямителя может быть определена зависимостью

$$U_d = \sqrt{\frac{3}{4}(U_{xx}^2 - 3I^2 \cdot X^2)},$$

где U_{xx} – напряжение холостого хода выпрямителя.

Здесь, как и в формуле (3), с увеличением сварочного тока подкоренное выражение уменьшается, напряжение на дуге падает.

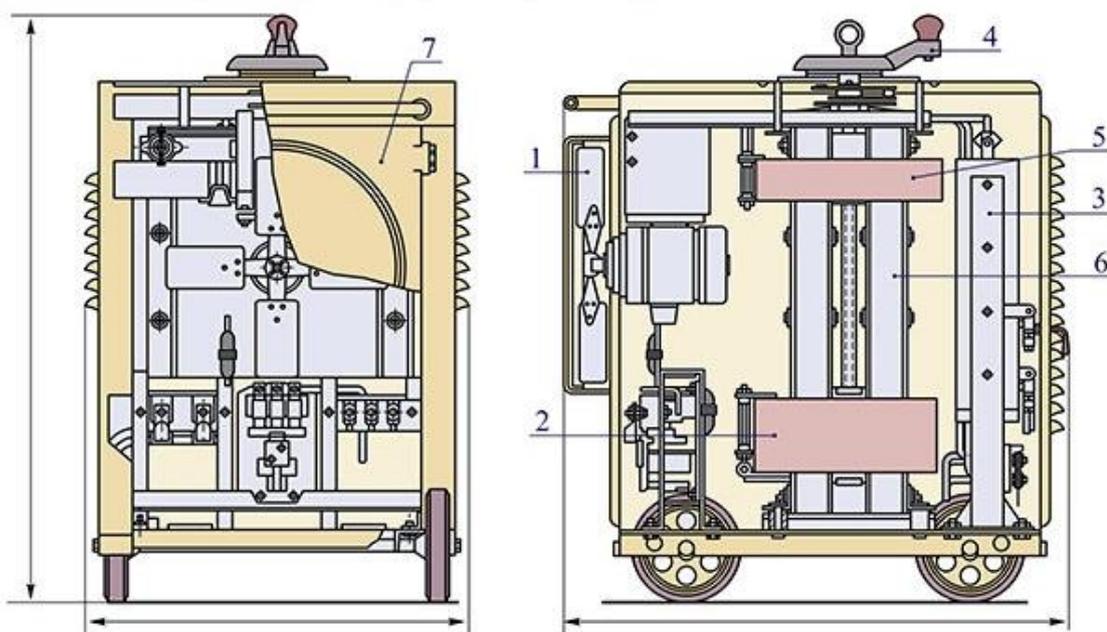


Рис. 3.4. Конструктивное исполнение сварочного выпрямителя:

- 1 – вентилятор; 2 – неподвижная обмотка; 3 – магнитопровод трансформатора; 4 – рукоятка с механизмом перемещения подвижной обмотки трансформатора; 5 – подвижная обмотка трансформатора; 6 – блок выпрямителей; 7 – кожух

Плавное регулирование сварочного тока осуществляется за счёт изменения расстояния между первичными и вторичными обмотками трёхфазного трансформатора. Ступенчатая регулировка тока обычно выполняется путём переключения первичных обмоток трансформатора с «треугольника» на «звезду».

3.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию сварочного трансформатора, инвертора и выпрямителя.
2. Снять внешние характеристики источников сварочного тока.
3. Построить графические зависимости напряжения на дуге от величины сварочного тока.

3.3. Содержание отчёта

1. Привести электрическую схему сварочного поста и кратко описать основные его элементы, указать тип источника сварочного тока и паспортные данные.
2. Изобразить конструктивную схему источника тока и пояснить принцип работы его узлов.
3. Кратко изложить методику эксперимента.
4. Привести таблицу опытных измерений тока и напряжения.

5. Представить графические зависимости напряжения от тока для нескольких режимов сварки, проанализировать их и сделать выводы по работе.

В выводах указать: характер (вид) полученных кривых, различие кривых по крутизне, какая из кривых характеризует наибольшую динамичность источника тока; объяснить с помощью аналитических зависимостей, за счёт чего это может быть получено.

3.4. Контрольные вопросы

1. Какие основные требования предъявляются к источникам питания сварочного поста?

2. Как создаётся крутопадающая внешняя характеристика сварочных источников переменного и постоянного тока?

3. Каким образом регулируется сварочный ток на трансформаторе, инверторе и выпрямителе?

4. Какие меры предосторожности должны быть приняты для безопасной работы на источниках сварочного тока?

4. РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ШТУЧНЫМ ПОКРЫТЫМ ЭЛЕКТРОДОМ. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА СВАРКИ.

Цель работы – изучение техники и технологии ручной дуговой сварки.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

1) изучить сущность ручной сварки, оценить роль и влияние покрытия электродов на качество сварного шва;

2) освоить методику определения основных сварочно-технологических характеристик плавящихся электродов и оценить производительность сварки различными электродами;

4) ознакомиться с техникой и технологией ручной дуговой сварки.

4.1. Сущность ручной дуговой сварки. Исследование влияния покрытия электродов на качество сварного шва

Для ручной дуговой сварки обычно применяют металлические электроды, состоящие из стержня и покрытия (рис. 4.1). Плавление электрода и свариваемого металла в процессе сварки осуществляется теплотой электрической (сварочной) дуги, горящей между электродом и свариваемым металлом. Электродный металл в виде капель переходит в жидкую металлическую (сварочную) ванну, которая после удаления дуги кристаллизуется, образуя сварной шов.

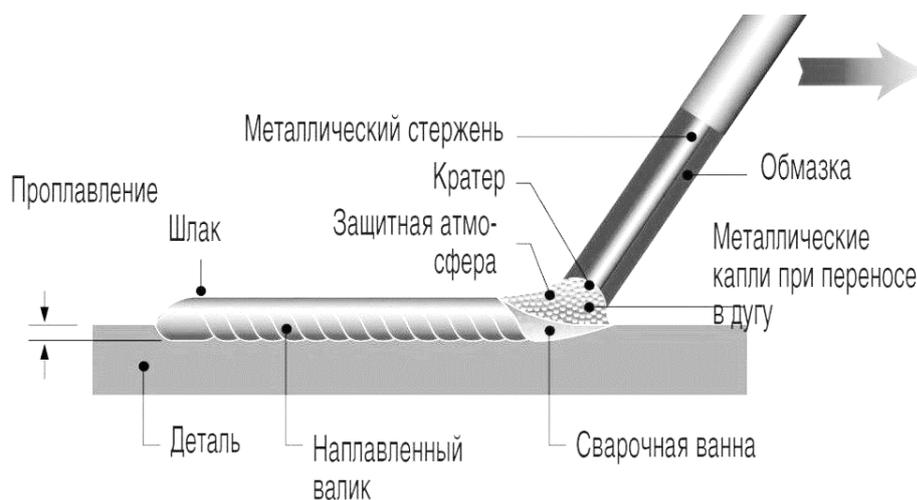


Рис. 4.1. Схема процесса ручной дуговой сварки

Образуемая при сварке сварочная дуга является мощным устойчивым электрическим разрядом в газовой среде. Сварочная дуга состоит из трех областей: анодной, катодной и столба дуги. При коротком замыкании электрода с деталью происходит разогрев этого участка. С разогретых участков, в основном с катодной области, начинается эмиссия электронов, которые, сталкиваясь с молекулами газов и атомами паров металла, вызывают их ионизацию. В результате этого дуговой промежуток становится электропроводным и возникает устойчивая сварочная дуга, температура в которой достигает $6000...12\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тепловой мощности такой дуги достаточно для плавления металла.

Металлические стержни электродов изготавливают из сварочной проволоки диаметром $0,3...12\text{ мм}$. Длина стержня $250...450\text{ мм}$. Для сварки сталей ГОСТом предусмотрено 77 марок стальной сварочной проволоки.

Покрытие электрода выполняет следующие функции:

1) защищает расплавленный металл сварочной ванны от вредного влияния кислорода, азота и водорода воздуха. Из паров и газов материалов покрытия над жидким металлом образуется локальная газовая атмосфера, которая препятствует контакту жидкого металла с воздухом. Одновременно материал покрытия образует жидкий слой шлака, после затвердевания которого остается легко отслаивающаяся шлаковая корка;

2) легирует, т. е. вводит в металл шва химические элементы (кремний, марганец и др.), чтобы придать ему необходимые свойства (прочность, твердость и т. д.);

3) раскисляет расплавленный металл сварочной ванны, удаляет кислород из жидкого металла. Окислы металлов, остающиеся в металле шва, снижают его механические свойства;

4) рафинирует расплавленный металл сварочной ванны, т. е. очищает его от серы и фосфора. Повышенное содержание серы и фосфора в металле шва ухудшает его механические свойства;

5) повышает устойчивость горения сварочной дуги (в покрытии содержатся элементы, обладающие низким потенциалом ионизации).

Покрытие состоит из порошкообразных материалов, цементированных клеящим раствором. В покрытие входят стабилизирующие, шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие и другие вещества. Покрытия бывают кислые, основные, рутиловые, целлюлозные и пр.

4.2. Определение сварочно-технологических характеристик электродов и производительности сварки

Коэффициент наплавки α_n характеризует массу наплавленного на изделие электродного металла в единицу времени при токе 1 А:

$$\alpha_n = \frac{G_n \cdot 3600}{I_{св} \cdot t},$$

где G_n – масса наплавленного металла, которая определяется взвешиванием пластины до и после сварки, г;

$I_{св}$ – сила сварочного тока, А;

t – время горения дуги, с.

Коэффициент расплавления α_p характеризует массу расплавленного электродного стержня в единицу времени при токе 1 А:

$$\alpha_p = \frac{G_p \cdot 3600}{I_{св} \cdot t},$$

где G_p – масса расплавленного электродного металла, рассчитываемая по разности масс металлического стержня электрода до и после сварки:

$$G_p = \frac{\pi d^2}{4} (l_{эл} - l_{св}) \rho,$$

где d – диаметр стержня электрода, см;

$l_{эл}$ – длина стержня электрода до сварки, см;

l – длина стержня электрода после сварки, см;

ρ – плотность стали ($\rho = 7,85$ г/см³).

Коэффициент потерь электродного металла при сварке на угар и разбрызгивание, %:

$$\Psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100 = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100.$$

Производительность наплавки (сварки) обычно оценивают как

$$\Pi = \alpha_n \cdot I_{св}.$$

Скорость однопроходной сварки

$$V_{св} = \frac{\Pi}{F_{н1} \cdot \rho} \cdot 100,$$

где $F_{н1}$ – площадь сечения наплавленного металла за один проход, см².

Коэффициент расплавления α_p зависит от ряда факторов (состав покрытия, род тока и полярность, плотность тока и др.) и равен для электродов с качественным покрытием 8...16 г/А·ч. Вследствие потерь электродного металла ($\Psi = 3...20$ %) значения коэффициента наплавки α_n обычно на 1...3

г/А·ч меньше значения α_p . Нормативные значения коэффициента α_n для различных марок электродов приведены в справочной литературе.

4.3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с типом и маркой электродов, подлежащих испытанию. Записать технический паспорт электродов, рекомендуемые пределы изменения тока, установить диаметр электрода и его длину до сварки.
2. Взвесить предварительно очищенные стальные пластины и произвести их маркировку.
3. Произвести наплавку на пластины, расплавляя каждый электрод на отдельную пластину. Во время наплавки по показаниям приборов зафиксировать силу сварочного тока I (среднее значение) и время горения дуги t .
4. Охладить пластины с наплавленным валиком, очистить их от шлака и брызг.
5. Взвесить каждую пластину с наплавленным валиком и измерить длину электродов, оставшихся после сварки.
6. Полученные результаты занести в табл. 4.1, провести необходимые расчеты коэффициентов и производительности сварки. Сравнить производительность ручной дуговой сварки при условии ее выполнения двумя различными электродами.

Таблица 4.1

Результаты эксперимента

Номер опыта	Марка электрода	Диаметр электрода d , мм	Длина электрода до наплавки $l_{эл}$, мм	Длина электрода после наплавки $l_{св}$, мм	Масса расплавленного металла G_p , г	Масса до наплавки $G_{пл}^A$, г	Масса после наплавки $G_{пл}^B$, г	Масса наплавленного металла G_m , г	Сила тока I , А	Время горения дуги t , ч	Коэффициент расплавления α_n , г/А·ч	Коэффициент потерь Ψ , %	Производительность P , г/ч	Скорость сварки $V_{св}$, см/ч

4.4. Техника и технология выполнения ручной дуговой сварки

Ручная дуговая сварка широко применяется для сварки самых различных металлов и сплавов толщиной от 2 до 100 мм. Особенно ручная сварка

выгодна и удобна при выполнении коротких швов и швов криволинейной формы в любом пространственном положении, а также при положении швов в труднодоступных местах. Ручная дуговая сварка обеспечивает хорошее качество сварных соединений. Недостатком ручной дуговой сварки является ее малая производительность по сравнению с механизированными способами дуговой сварки. Студентам необходимо самостоятельно установить причины вышеуказанного недостатка изучаемого способа сварки.

Выполнение данного раздела работы рекомендуется осуществлять на примере разработки процесса сварки конкретного изделия. Все необходимые исходные данные задаются студентам преподавателем.

Пользуясь плакатами и справочными данными, представленными в лаборатории, студенты совместно с преподавателем выбирают или назначают:

1) вид сварочного соединения и тип сварного шва. Применяемые при сварке сварные соединения условно разделяют на четыре вида: стыковые, тавровые, нахлесточные и угловые. Сварные швы бывают однопроходными и многопроходными, односторонними и многосторонними и т. д. Пользуясь ГОСТ 5264-80 и плакатами, необходимо схематично изобразить основные типы сварных соединений и швов, а также выбрать конкретное решение применительно к заданию;

2) форму и элементы подготовки кромок под сварку. Перед сваркой кромки свариваемого металла тщательно подготавливаются: зачищают поверхности до металлического блеска, соединяют детали друг с другом прихватками – короткими сварными швами, служащими для сборки деталей под сварку. Кромки свариваемых деталей при толщине металла более 4 мм подвергаются специальной операции – разделке. Эта технологическая операция предшествует сварке и выполняется на строгальных и фрезерных станках или с помощью кислородной резки. При сварке разделка кромок заполняется присадочным металлом за один или несколько проходов. При изучении этого вопроса необходимо по плакатам ознакомиться с различными формами разделки кромок и ее элементами, по ГОСТ 5264-80 выбрать конкретное решение применительно к заданию. Положение, в котором выполняется сварка, может быть нижнее, горизонтальное, вертикальное и потолочное;

3) тип и марку электрода в зависимости от физико-механических свойств, химического состава, толщины металла и требований, предъявляемых к сварному соединению. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей предусмотрено 9 типов электродов (Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60). Цифра в обозначении указывает гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм², а буква А – повышенную пластичность металла шва. Каждому типу электродов может соответствовать несколько марок электродов. Марка электрода – это его промышленное обозначение, характеризующее стержень и покрытие;

4) род тока, полярность, диаметр электрода и силу сварочного тока. При выборе учитываются химический состав свариваемого металла, его толщина, пространственное положение шва, требования к сварному соединению и т.д.

При работе экономичнее пользоваться сварочным оборудованием на переменном токе, но повышения качества сварки можно скорее добиться на постоянном токе. Род и полярность тока влияют на форму и размеры шва. Обычно пользуются прямой полярностью, обеспечивающей лучшее проплавление свариваемого металла. Обратную полярность рекомендуют применять при сварке тонкого металла в целях исключения прожога и для сварки высоколегированных сталей для исключения их перегрева.

Ручная дуговая сварка углеродистых и низколегированных сталей в нижнем положении осуществляется при следующих ориентировочных размерах:

Толщина металла, мм	1...2	2...5	5...10	Свыше 10
Диаметр электрода, мм	2	3, 4	4, 5, 6	6
Сила тока, А	45...65	80...100	130...150	210...240

5) скорость сварки, число слоев и порядок их нанесения.

Под руководством учебного мастера студенты:

- а) знакомятся с техникой манипулирования электродом при выполнении ничточных и уширенных швов;
- б) изучают порядок выполнения швов различной протяженности и толщины;
- в) знакомятся с особенностями техники выполнения сварочных швов в различных пространственных положениях;
- г) выполняют операции заданных образцов в следующей последовательности:

- устанавливают на источнике питания требуемый ток;
- закрепляют выбранный электрод в электродержателе;
- включают органы управления в присутствии учебного мастера;
- наносят валик расплавленного металла на пластину выбранным способом, при этом стремятся получить валик требуемой формы и размеров.

5. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКОЙ В СРЕДЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Цель работы – изучение особенностей способов дуговой сварки в защитных газах, сварочного оборудования и техники выполнения сварки.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) ознакомиться с сущностью и особенностями способов дуговой сварки в защитных газах;
- 2) изучить устройство, принципы работы и технологические возможности постов ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом и механизированной сварки в углекислом газе;
- 3) получить практическое представление о технических возможностях дуговой сварки в аргоне и углекислом газе.

5.1. Сущность и особенности способов дуговой сварки в защитных газах

При сварке в защитном газе электрод, дуга и сварочная ванна защищены от воздействия окружающего воздуха струей защитного газа. В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон, гелий) и активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.), для чего используют иногда смеси двух газов и более. Наибольшее применение нашли аргон и углекислый газ.

Аргонодуговая сварка. Сварку осуществляют неплавящимися и плавящимися электродами. Сварку неплавящимся (вольфрамовым) электродом ведут на постоянном токе прямой полярности (рис. 5.1). В этом случае дуга легко зажигается и горит устойчиво при напряжении 12...18 В. При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость ее горения и снижается стойкость электрода.

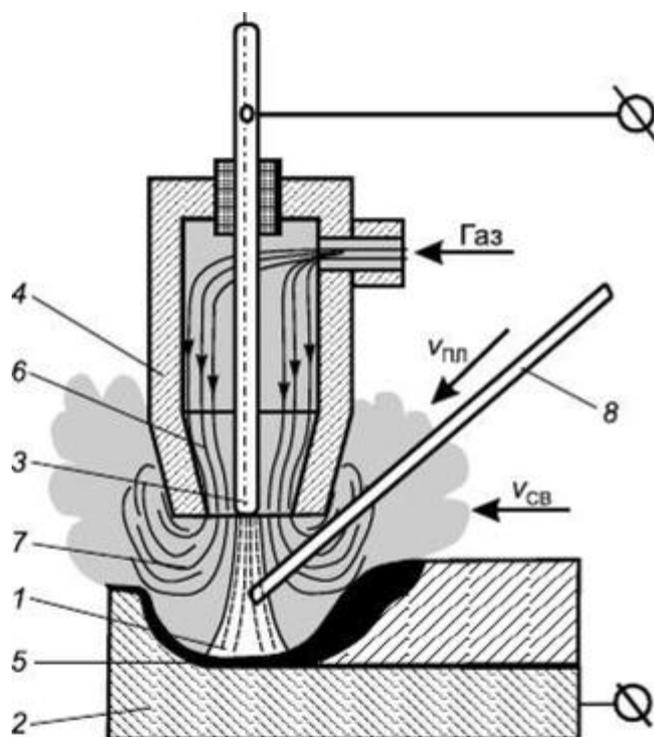


Рис. 5.1. Схема процесса дуговой сварки в защитных газах неплавящимся электродом: 1 – дуга; 2 – изделие; 3 – электрод; 4 – сопло; 5 – сварочная ванна; 6 – поток газа; 7 – защитное облако; 8 – присадочный пруток

Однако при обратной полярности под воздействием дуги с поверхности свариваемого металла удаляются оксиды. Это свойство дуги используют при сварке алюминия, магния и их сплавов, применяя для питания дуги переменный ток.

При сварке неплавящимся электродом на переменном токе сочетаются преимущества дуги на прямой и обратной полярностях. Для повышения эффективности и устойчивости процессов питание дуги переменным током осуществляют от специальных источников тока. Сварку в аргоне плавящимся электродом выполняют на автоматах или в виде механизированного вариан-

та. Нормальное протекание процессов и хорошее формирование шва достигается при высоких плотностях тока (100 А/мм^2 и более), при этом перенос расплавленного металла с электрода становится мелкокапельным или струйным, обеспечивается глубокое проплавление основного металла, формирование плотного шва с ровной и чистой поверхностью и разбрызгивание в допустимых пределах. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности. В данном случае дуга горит устойчиво, так как ее электрические свойства в значительной мере определяются наличием ионизированных атомов металла электрода в столбе дуги.

Дуговая сварка в углекислом газе. Сварку в углекислом газе выполняют только плавящимся электродом на повышенных плотностях постоянного тока обратной полярности. Такой режим обусловлен теми же особенностями переноса электродного металла и формирования шва, которые свойственны сварке плавящимся электродом в аргоне.

При использовании CO_2 в качестве защитного газа необходимо учитывать металлургические особенности процесса сварки, связанные с окислительным действием CO_2 .

При высоких температурах сварочной дуги CO_2 диссоциирует на CO и атомарный кислород O , который окисляет свариваемый металл и легирующие элементы. Окислительное действие кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей марганца и кремния. Они восстанавливают железо из закиси FeO , а образующиеся окислы SiO_2 и MnO всплывают на поверхность сварочной ванны и переходят в шлак. Поэтому для сварки в CO_2 углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием этих элементов (Св-10ГС, Св-08Г2С).

Сварка в углекислом газе в ряде случаев рентабельнее ручной дуговой и некоторых видов сварки под флюсом. Она обладает высокой производительностью, большой проплавляющей способностью, малой токсичностью и низкой себестоимостью.

Сварочный полуавтомат для сварки в защитных газах (рис. 5.2) состоит из сварочной горелки 8, которая представляет собой ручной инструмент, обеспечивающий направление подачи проволоки, токоподвод к ней и газовую защиту зоны горения дуги; блока подачи проволоки 6, обеспечивающего поступление проволоки в сварочную горелку по специальному гибкому шлангу; блока управления процессом сварки 1, который имеет электрическую связь со всеми элементами полуавтомата. Защитный газ поступает в горелку из баллона 7. На сварочной горелке предусмотрена клавиша управления, с помощью которой сварщик подаёт сигнал в блок управления о начале и окончании сварки. Остальные технологические команды выдаёт блок управления: продувка газом шланга, включение источника, подача проволоки и сварка, последующее замедление и прекращение подачи проволоки, выключение тока и, после некоторой выдержки, прекращение подачи газа.

Регулируют силу сварочного тока путем изменения скорости подачи проволоки при выбранном для данной проволоки напряжении холостого тока. Дуга должна гореть с легким шипением и без интенсивного разбрызгивания капель металла.

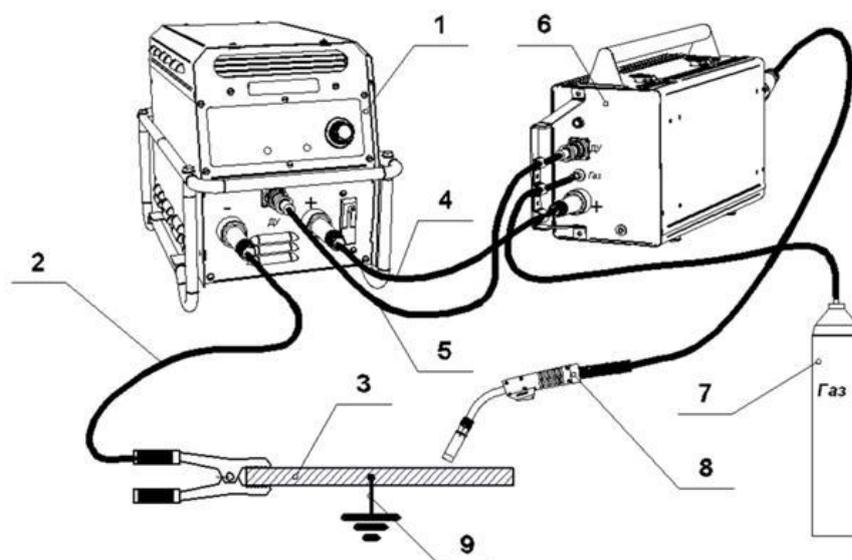


Рис. 5.2. Схема сварочного полуавтомата:

- 1 – источник; 2 – зажим заземления; 3 – свариваемое изделие;
- 4 – сварочный кабель (перемычка); 5 – кабель управления;
- 6 – блок подачи проволоки; 7 – баллон с защитным газом и газовая аппаратура (редуктор, шланги, фитинги);
- 8 – горелка для полуавтоматической сварки;
- 9 – подключение к контуру защитного заземления

5.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию сварочного полуавтомата.
2. Выполнить на холостом ходу команды полуавтомата: «Пуск», «Стоп», измерить скорость подачи электродной проволоки, а также проверить исполнение команды «Подача газа».
3. Проследить за работой полуавтомата в режиме сварки.
4. Нанести на стрелках управления блок-схемы полуавтомата очередность выполнения команд.

5.3. Содержание отчёта

1. Представить блок-схему сварочного полуавтомата с расшифровкой обозначений и указанием очередности выполнения команд управления.
2. Привести технические характеристики сварочных систем.
3. Указать рабочие режимы, на которых выполнялась сварка.

5.4. Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы защиты металла шва и околошовной зоны от воздействия азота, водорода, кислорода воздуха?
2. В чём состоит преимущество полуавтоматической сварки перед ручной?
3. В чём сущность и назначение аргонодуговой сварки? Достоинства и недостатки.
4. В чём сущность и назначение дуговой сварки в углекислом газе? Достоинства и недостатки.
5. Как регулируют силу тока во полуавтоматах?

6. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

Цель работы – изучение возможностей автоматической дуговой сварки и влияния автоматизации на качество и производительность процессов сварки.

В лабораторной работе необходимо:

- 1) изучить особенности процессов автоматической дуговой сварки;
- 2) изучить схему, конструкцию и принцип действия автоматической сварочной головки, сварочного трансформатора;
- 3) исследовать влияние силы сварочного тока и скорости сварки на форму и геометрические размеры сварного шва.

6.1. Особенности процесса дуговой сварки под флюсом

Процесс автоматической дуговой сварки под флюсом имеет следующие особенности:

- 1) в качестве электрода используется голая сварочная проволока, поступающая в зону горения дуги с определенной скоростью V_0 (рис. 6.1);
- 2) подвод тока к электроду осуществляется через скользящий контакт на расстоянии 30...50 мм от дуги, что позволяет применять при сварке большую силу тока (до 2000 А) без опасности перегрева электрода джоулевой теплотой. Благодаря такому решению производительность процесса сварки в 5...20 раз больше, чем при ручной дуговой сварке. Увеличение силы тока позволяет сваривать металл большой толщины (до 20 мм) за один проход без разделки кромок;
- 3) сварочная ванна и электрическая дуга находятся под слоем расплавленного флюса. Флюс выполняет те же функции, что и покрытие штучных электродов, но обеспечивает лучшую металлургическую обработку расплавленного металла, более медленное охлаждение шва, предотвращает разбрызгивание и угар расплавленного металла. В результате качество сварных швов, выполненных автоматической дуговой сваркой, выше, а потери электродного металла меньше, чем при ручной дуговой сварке;

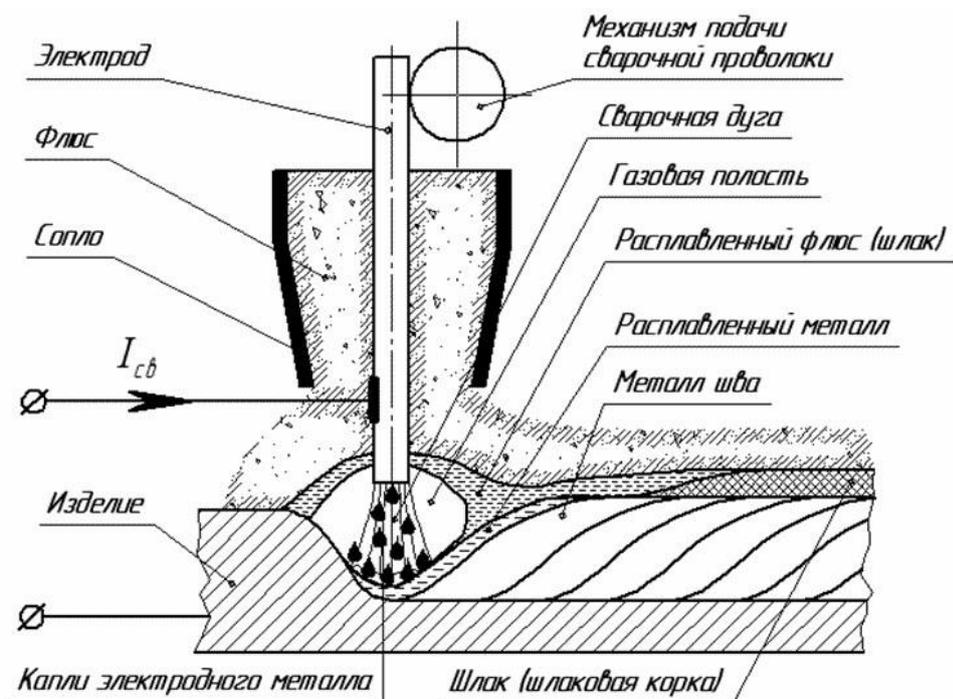


Рис. 6.1. Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом

4) параметры режима сварки поддерживаются автоматически с высокой степенью точности. В частности, благодаря поддержанию постоянства длины дуги, механизированной подаче проволоки и ее перемещению вдоль изделия улучшается форма и поверхность шва, обеспечивается постоянство его размеров по всей длине.

6.2. Устройство, принцип действия и технологические возможности автоматов для дуговой сварки под флюсом

Процесс дуговой сварки включает следующие основные операции:

- 1) зажигание сварочной дуги;
- 2) подачу электрода в зону сварки по мере его плавления и поддержание устойчивого горения дуги и постоянства ее длины;
- 3) перемещение дуги вдоль свариваемого изделия;
- 4) прекращение горения дуги по окончании сварки. Наиболее сложным является автоматическое поддержание постоянства заданной длины дуги, которое определяет устойчивость процесса и постоянство режима сварки. В автоматах дуговой сварки используются два принципа поддержания постоянства длины сварочной дуги:
 - автоматическое принудительное регулирование длины дуги;
 - саморегулирование длины дуги при постоянной независимой скорости подачи электродной проволоки.

В сварочных головках с принудительным регулированием длины дуги для поддержания постоянства длины дуги используется взаимосвязь между

длиной дуги L , напряжением дуги U и скоростью подачи электродной проволоки V_s . Поскольку $U \sim L$, регулирование постоянства напряжения дуги эквивалентно регулированию постоянства длины, так как $U = \text{const}$, если $L = \text{const}$. По этой причине в сварочной головке в качестве регулируемой величины используется напряжение дуги, а регулирующей величиной является скорость подачи электродной проволоки. При этом способе регулирования временное нарушение постоянства длины дуги, а следовательно и напряжения, автоматически устраняется установкой соответствующей скорости подачи электродной проволоки.

Современные автоматы поддерживают заданное напряжение дуги с точностью $\pm 0,5$ В, что соответствует точности поддержания длины дуги $\pm 0,2 \dots 0,3$ мм.

Схема автоматической сварочной головки представлена на рис. 6.2.

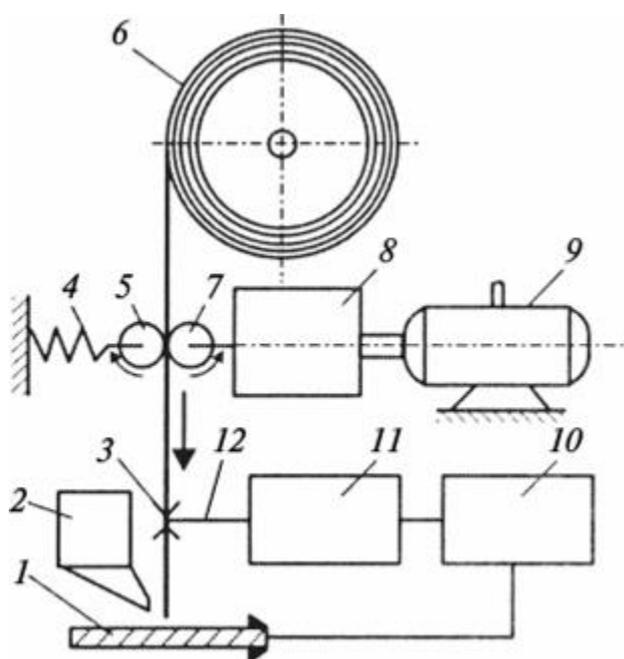


Рис. 6.2. Схема автоматической сварочной головки:

- 1 – свариваемая деталь; 2 – бункер для подачи флюса; 3 – мундштук;
- 4 – пружина; 5, 7 – ролики; 6 – электродная проволока; 8 – редуктор;
- 9 – электродвигатель; 10 – пускорегулирующая аппаратура;
- 11 – аппаратный ящик; 12 – провод источника сварочного тока

Электродная проволока из бухты, вложенной в кассету 6, подается ведущим 7 и прижимным 5 роликами к поверхности свариваемой детали 1. Подающий ролик 7 приводится во вращение электродвигателем 9 через специальный редуктор 8. После роликов 5 и 7 электродная проволока проходит в мундштук 3, к которому подведен через аппаратный ящик 11 один провод источника сварочного тока 12. Другой провод присоединяется к изделию 1. В аппаратном ящике расположена пускорегулирующая аппаратура. На сварочной головке крепится бункер 2 для подачи и отсоса флюса.

Важнейшее условие устойчивого горения дуги – ее постоянная длина. При нормальной длине дуги и ее нормальном напряжении скорость подачи электродной проволоки должна быть примерно равна скорости ее плавления. Длина дуги прямо пропорциональна напряжению; увеличивается длина дуги, возрастает напряжение и наоборот. Изменение же длины дуги или ее напряжения может произойти в результате колебания напряжения сети источника тока, пробуксовки проволоки в подающем механизме, неровности свариваемой детали. Сварочная головка должна «реагировать» на эти изменения и восстанавливать заданную длину дуги. С уменьшением длины дуги скорость подачи проволоки снижается и с увеличением возрастает.

В основу регулирования работы сварочных головок положены два основных принципа регулирования: регулирование скорости подачи электродной проволоки и поддержание постоянной скорости подачи проволоки.

Сварочные головки с переменной скоростью подачи электродной проволоки имеют сложную электрическую схему и поэтому получили ограниченное применение (при низких напряжениях и малых сварочных токах). На рис. 6.3, *a* представлена принципиальная схема сварочной головки с регулируемой скоростью подачи электродной проволоки.

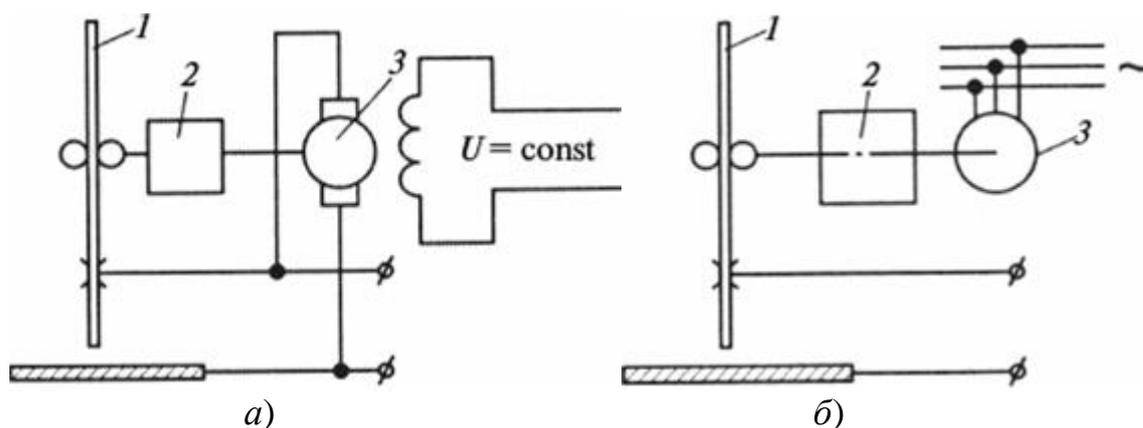


Рис. 6.3. Принципиальная схема сварочной головки с регулируемой (*a*) и с постоянной (*б*) скоростью подачи электродной проволоки:

1 – электродная проволока; 2 – подающий механизм; 3 – электродвигатель

Электродвигатель 3 постоянного тока для привода подающего механизма 2 электродной проволоки 1 включается так, что частота вращения его ротора зависит от напряжения дуги. При увеличении длины дуги во время сварки возрастает напряжение дуги и частота вращения ротора электродвигателя, в связи с чем проволока подается быстрее и длина дуги восстанавливается. Если длина дуги становится короче, ее напряжение падает, частота вращения ротора электродвигателя уменьшается, соответственно снижается скорость подачи проволоки.

У автоматов, например АДС-1000-4, АДФ-1003, скорость подачи проволоки автоматически устанавливается и регулируется при сварке в зависимости от длины сварочной дуги. Сварщик задает на пульте управления величину

ну напряжения дуги, электрическая схема сравнивает фактическое напряжение в данный момент с заданным и, меняя скорость подачи проволоки, поддерживает длину дуги постоянной.

Наибольшее распространение в сварочном производстве получили установки с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. Принципиальная схема такой установки показана на рис. 6.3, б. Асинхронный трехфазный электродвигатель 3, питающийся непосредственно от сети, через редуктор 2 с постоянной скоростью подает электродную проволоку 1 к месту сварки. Поэтому скорость вращения электродвигателя постоянна, независимо от длины (следовательно, и напряжения) дуги. Примерное равенство скорости подачи проволоки и скорости ее плавления поддерживается саморегулированием.

Для сварки и наплавки под флюсом установками с постоянной скоростью подачи электродной проволоки (с саморегулированием) применяются источники как переменного, так и постоянного тока с жесткой или пологопадающей внешней характеристикой.

Саморегулирование осуществляется следующим образом. Если в процессе сварки длина дуги уменьшится (например, из-за неровностей на поверхности свариваемых кромок), то напряжение на дуге понизится. Так как внешняя характеристика источника сварочного тока жесткая или пологопадающая, то даже незначительное уменьшение напряжения приведет к значительному возрастанию сварочного тока и тем самым к увеличению скорости плавления электродной проволоки (скорость плавления проволоки почти пропорциональна сварочному току).

Повышение скорости плавления проволоки при постоянной скорости ее подачи приведет к удлинению дуги, т.е. к восстановлению установленного режима сварки. Если же длина дуги возрастет, сварочный ток понизится. Следовательно, скорость плавления электродной проволоки уменьшится, что при постоянной скорости ее подачи приведет к сокращению дугового промежутка.

Механизмы с постоянной скоростью подачи электродной проволоки просты и надежны в работе. Однако процесс саморегулирования протекает нормально при питании дуги постоянным током. При сварке на переменном токе для устойчивости процесса колебания напряжения в сети не должны превышать 6...8%.

Автоматическая сварочная головка является основным элементом механизированных систем сварки (полуавтомата и автомата). В полуавтоматах механизирована только подача проволоки в зону горения дуги, перемещение дуги вдоль изделия осуществляется вручную. При автоматической – механизированы оба движения: подача проволоки и перемещение дуги вдоль изделия. Механизированные системы сварки, кроме сварочной головки, включают источники тока, блоки управления и другие элементы в зависимости от назначения системы.

Универсальный автомат для дуговой сварки, например, сварочный трактор, позволяет выполнять сварку стыковых швов с разделкой и без разделки кромок, угловых и нахлесточных швов вертикальным и наклонным электродом, а так же угловых швов в лодочку. Трактор может выполнять сварку закрытой (под флюсом), так и открытой (в защитных газах) дугой. С этой целью он комплектуется дополнительным мундштуком для сварки в углекислом газе. В тракторе предусмотрены два электродвигателя переменного тока, один из которых установлен на ходовой тележке, а второй на подающем механизме.

Сварочный автомат для сварки под флюсом состоит из следующих основных элементов (рис. 6.4).

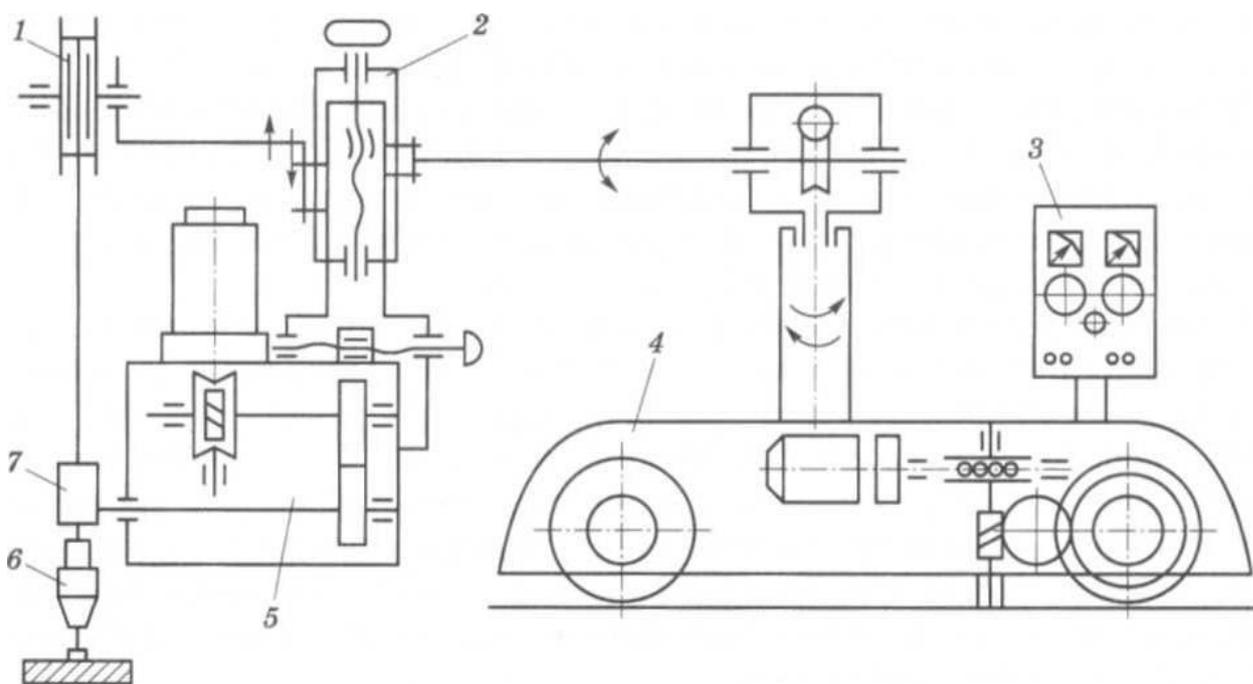


Рис. 6.4. Блок-схема сварочного автомата:

- 1 – кассета для сварочной проволоки; 2 – устройство для установочных перемещений головки; 3 – пульт управления автоматом; 4 – тележка;
- 5 – механизм подачи проволоки; 6 – мундштук; 7 – подающие ролики

Тележка 4 предназначена для перемещения автомата над или рядом со свариваемым стыком. В большинстве конструкций тележка выполняет роль базового элемента. На ее корпусе устанавливают головку, кассету для сварочной проволоки 1 и пульт управления автоматом 3. Тележка должна обеспечивать плавность хода в широком диапазоне скоростей сварки. Различают тележки тракторного и кареточного типов. Тележка тракторного типа перемещаются при помощи бегунковых колес либо по направляющим стапеля, либо непосредственно по свариваемому изделию. Тележка кареточного типа перемещается только по направляющим стапеля или самого автомата. Конструкция направляющих элементов зависит от формы свариваемого стыка. Для сварки продольных прямолинейных стыков часто применяют консольные направляющие. Консольные автоматы для дуговой сварки универсальны.

Их можно использовать и для сварки поворотных кольцевых швов. В этом случае каретку автомата устанавливают неподвижно. В автоматах для сварки неповоротных кольцевых стыков каретка перемещается по направляющим, имеющим форму окружности. Для перемещения каретки применяют бегунковые колеса, зубчатые рейки, ходовые винты. Тележки автоматов для дуговой сварки перемещаются с помощью электродвигателя через редуктор. В автоматах для дуговой сварки с электроприводом переменного тока настройку скорости перемещения тележки регулируют с изменением оборотов электродвигателя. В автоматах с электроприводом переменного тока настройку скорости перемещения осуществляют сменными шестернями в редукторе.

6.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию автоматической сварочной головки.
2. Выполнить на холостом ходу команды автомата: «Пуск», «Стоп», «Электрод вверх», «Электрод вниз», «Каретка вперёд», «Каретка назад» и проконтролировать их выполнение.
3. Проследить за процессом работы сварочного автомата в режиме сварки, записать ток, напряжение на дуге и скорость сварки.
4. Нанести на стрелках управления блок-схемы автомата очередность выполнения команд.

6.4. Содержание отчёта

1. Дать схему сварочной головки с цифровым обозначением элементов и расшифровать их.
2. Представить блок-схему сварочного автомата с расшифровкой обозначений и указанием очередности выполнения команд управления.
2. Привести технические характеристики сварочных систем.
3. Указать рабочие режимы, на которых выполнялась сварка.

6.5. Контрольные вопросы

1. Как устроена и как работает автоматическая сварочная головка?
2. В чём разница между сварочными головками первого и второго типов?
3. В чём состоит преимущество автоматической сварки перед ручной?
4. Чем отличается сварочный автомат от полуавтомата?

7. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ НАПЛАВКЕ ПЛАСТИН

Цель работы: овладение инженерным методом расчёта деформаций и получение навыков при их экспериментальном определении.

7.1. Общие сведения

При наплавке валика на кромку полосы валик и нагретая часть полосы расширяются и растягивают холодную часть полосы, создавая в ней растяжение с изгибом (рис. 7.1, *a*). Сам же валик и нагретая часть полосы будут сжаты, поскольку их тепловому расширению препятствует холодная часть полосы. Полоса прогнется выпуклостью вверх.

При остывании (рис. 7.1, *б*) валик и нагретая часть полосы, претерпев пластические деформации, будут укорачиваться, но этому снова воспрепятствуют слои холодного металла. Валик и нагретая часть полосы будут стягивать верхние волокна, и полоса прогнется выпуклостью вниз.

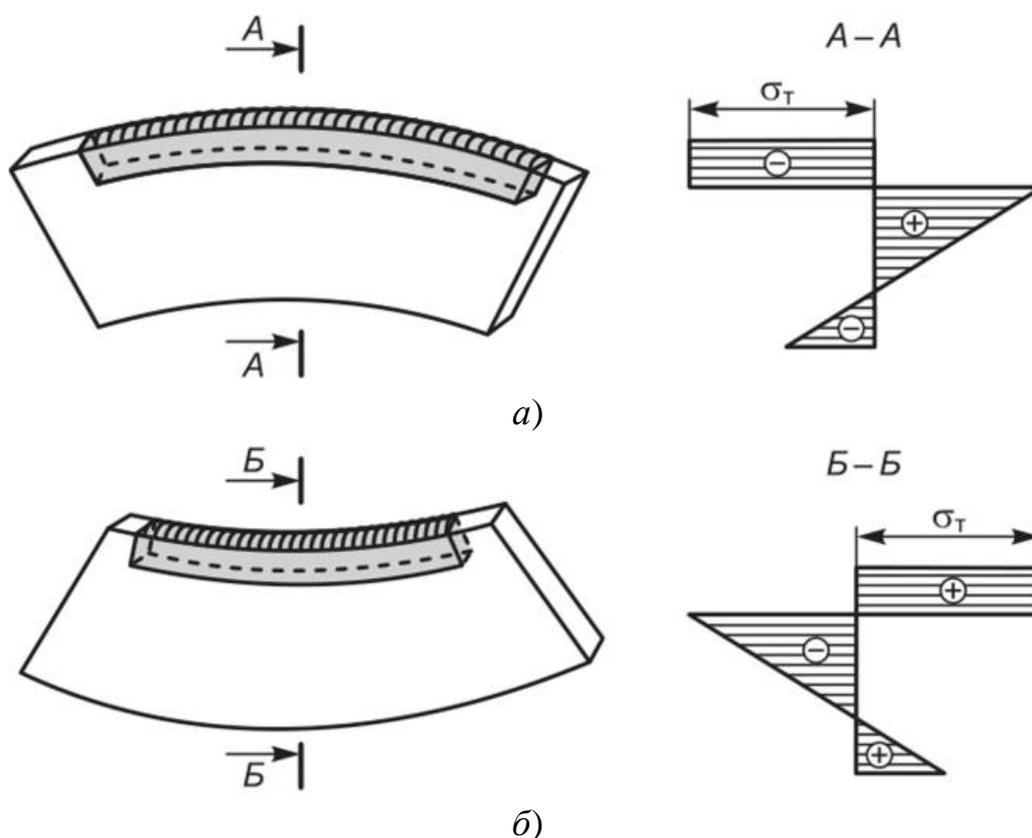


Рис. 7.1. Неравномерный нагрев металла:
a – при наплавке (нагревании); *б* – при остывании;
 σ_T – напряжение текучести; «+» - растяжение; «-» - сжатие

При остывании металл становится более плотным, его объем уменьшается, и в сварном соединении возникают внутренние напряжения (рис. 7.2). Из-за продольных напряжений изделие коробится в продольном направлении (рис. 7.3, *a*), а поперечные приводят, как правило, к угловым деформациям – короблению в сторону большего объема расплавленного металла (рис. 7.3, *б*).

Внутренние напряжения возникают только в том случае, если свободному расширению и сокращению детали что-либо препятствует, например соседние участки металла, оставшиеся более холодными вследствие неравномерного нагрева и потому менее расширившиеся.

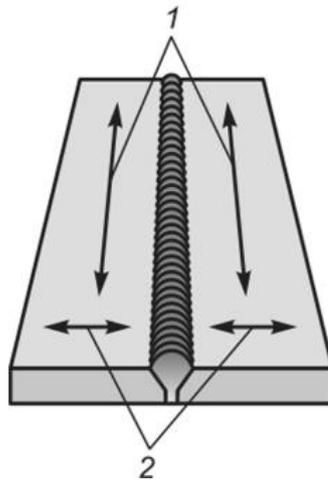


Рис. 7.2. Литейная усадка наплавленного металла:
1 – продольное напряжение; 2 – поперечное напряжение

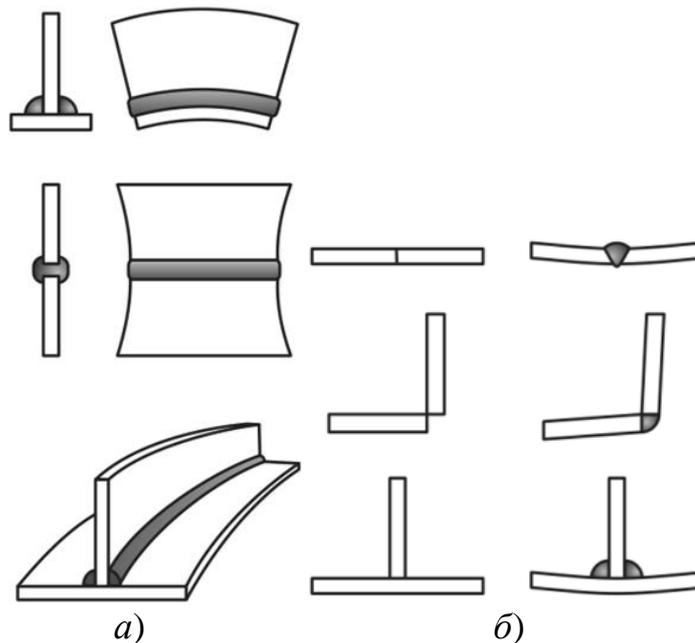


Рис. 7.3. Деформация изделия: *а* – от продольной усадки;
б – от поперечной усадки

Наличие сосредоточенного источника теплоты (электрической дуги), перемещающегося вдоль шва с определенной скоростью и вызывающего неравномерное нагревание металла при сварке, является основной причиной возникновения внутренних напряжений и деформаций в сварных изделиях.

При переходе наплавленного металла из жидкого состояния в твердое происходит *усадка наплавленного металла*. Явление усадки объясняется тем, что при затвердевании металла он становится более плотным, вследствие чего объем его сокращается. Различные металлы имеют разную усадку. Она обычно измеряется в процентах от первоначального линейного размера образца или детали. Так, усадка алюминия 1,7-1,8%; бронзы – 1,45-1,6%; латуни – 2,06%; меди – 2,1%; малоуглеродистой стали – 2%.

Напряжения, вызванные усадкой, возрастают до тех пор, пока металл не начнет вытягиваться. Если он недостаточно пластичен, деталь может дать трещину в наиболее слабом месте. Этим местом часто бывает околошовная зона, т.е. зона термического влияния. Вследствие усадки или сокращения объема металла в процессе сварки образуются горячие трещины.

Деформация и связанные с ней напряжения зависят от зоны нагрева при сварке. Чем больший объем металла разогревается при сварке, тем сильнее деформации и коробления.

Размеры и положения швов влияют на величину деформации при сварке. Наибольшие деформации возникают в длинных швах, расположенных несимметрично относительно сечения свариваемого профиля. Чем сложнее форма детали, чем больше в ней различных швов, тем сильнее она деформируется.

Во время сварки теплота дуги расходуется не только на расплавление металла сварочной ванны, но и на нагрев изделия. При этом оно нагревается неравномерно: на границе с ванной - почти до температуры плавления, а чем дальше от ванны, тем температура ниже.

В результате усадки при затвердевании наплавленного металла, неравномерного нагрева и охлаждения различных участков сварного соединения в процессе сварки, изменения объема металла, вызванного изменением структуры металла при сварке, в металлической конструкции возникают напряжения.

7.2. Содержание работы

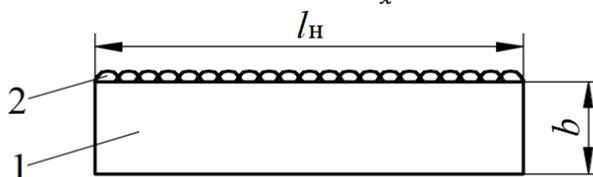
При наплавке прямолинейной пластины (рис. 7.4, а) расчётная схема определения деформаций включает в себя условия закрепления и нагрузку (рис. 7.4, б).

Прогиб балки находится по зависимости:

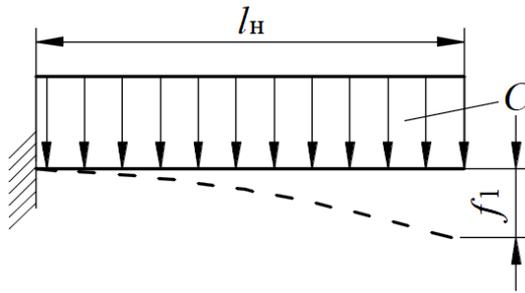
$$f_1 = \frac{C \cdot l_H^2}{2},$$

где C – кривизна от сварки или фиктивная нагрузка, 1/см:

$$C = \mu \cdot q_{\text{п}} \frac{y'}{I_x},$$



а)



б)

Рис. 7.4. Исследуемая прямолинейная пластина:
a – геометрические параметры пластины;
б – расчётная схема; 1 – пластина; 2 – наплавленный валик

где μ – коэффициент деформации, равный $0,843 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{Дж}$ при $q_n/F \leq 628$;

F – площадь поперечного сечения пластины, см^2 ;

q_n – погонная энергия при наплавке, $\text{Дж}/\text{см}$:

$$q_n = \frac{I \cdot U \cdot \eta}{V_n},$$

где I – сварочный ток, А;

U – напряжение дуги, В;

η – КПД использования тепла дуги, $\eta = 0,75$ при наплавке покрытыми электродами и $\eta = 0,9$ – при автоматической наплавке под слоем флюса;

V_n – скорость наплавки, $\text{см}/\text{с}$;

y' – расстояние от линии центров тяжести пластины до наплавки, см ;

I_x – момент инерции сечения пластины относительно оси x , см^4 ;

l_n – длина балки или наплавляемой пластины, см .

В результате:

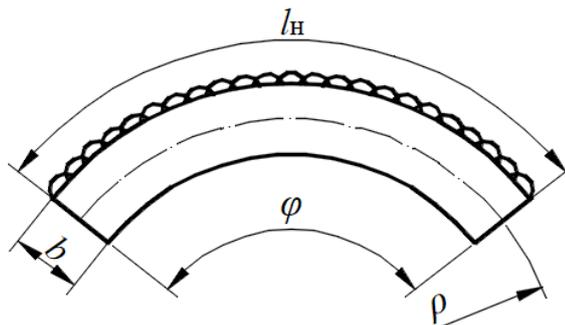
$$f_1 = \frac{\mu}{2} \cdot \frac{IU\eta}{V_n} \cdot l_n^2 \cdot \frac{y'}{I_x}.$$

Деформации при наплавке криволинейной пластины (рис. 7.5) определяются по формуле:

$$f_2 = \beta' C \rho^2 (1 - \cos \varphi),$$

где β' – коэффициент, зависящий от геометрических параметров пластины и от величины смещения центра её тяжести при деформации:

$$\beta' = \beta \cdot \chi,$$



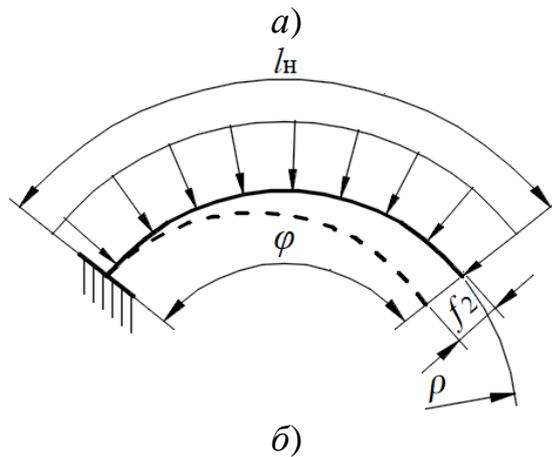


Рис. 7.5. Исследуемая криволинейная пластина:
a – геометрические параметры; *б* – расчётная схема

где β – коэффициент, зависящий от геометрических параметров пластины;

χ – коэффициент, зависящий от величины смещения центра тяжести пластины при её деформации.

В свою очередь,

$$\beta = 1 - \frac{0,06}{\rho_0^2},$$

где ρ_0 – относительный радиус кривизны бруса:

$$\rho_0 = \frac{\rho}{b},$$

где b – ширина пластины, см.

$$\chi = 1 - \left(\frac{i}{\rho}\right)^2,$$

где i – радиус инерции, см:

$$i = \sqrt{\frac{I_x}{F}}.$$

В результате:

$$f_2 = \left(1 - \frac{0,06}{\rho_0^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{I_x}{F\rho^2}\right) \cdot \mu \cdot \frac{IU\eta}{V_H} \cdot \frac{y'}{I_x} \cdot \rho^2(1 - \cos\varphi).$$

7.3. Порядок выполнения работы

Экспериментальная проверка расчётных величин f_1 и f_2 осуществляется на установке, представленной на рис. 7.6. Остаточные деформации определяются по разности показаний индикатора до и после наплавки (с учётом охлаждения пластины). Характер изменения временных деформаций и их величины выявляются следующим образом. Поскольку наиболее интенсивно они меняются в начальный период, т.е. в момент нагревания, а затем медленно устанавливаются в виде остаточных деформаций, целесообразно первые 20 значений фиксировать через 10 с, затем 5 значений через 50 с и далее 4

значения через 300 с. Графическое представление $f(t)$ необходимо не только для определения динамики поведения пластины при нагревании и охлаждении, но и для избегания случайных ошибок при расчётах остаточных деформаций.

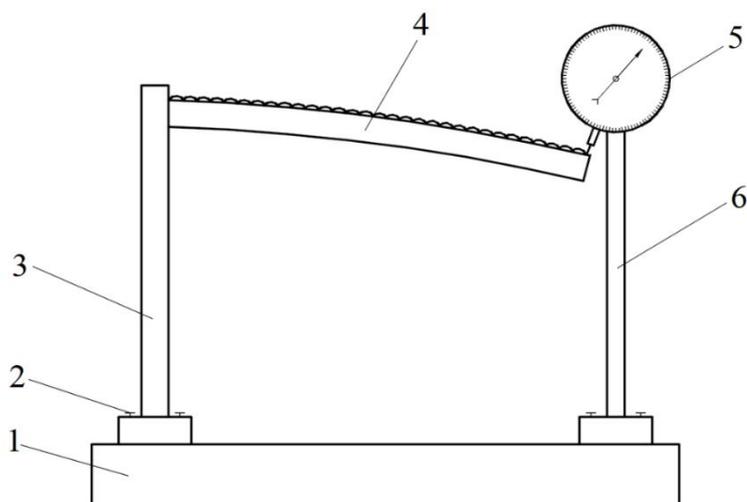


Рис. 7.6. Экспериментальная установка для определения деформаций при наплавке пластин различной кривизны:
 1 – основание; 2 – винт; 3 – левая стойка; 4 – исследуемая пластина;
 5 – индикатор часового типа; 6 – правая стойка

Исходные данные заносятся в табл. 7.1, 7.2.

Таблица 7.1

Геометрические параметры пластин

Исследуемая пластина	Толщина δ , см	Ширина b , см	Длина наплавляемой кромки l_n , см
1. Прямолинейная			
2. Криволинейная: $\rho =$ см, $\varphi =$ °			

Таблица 7.2

Параметры режима наплавки

Исследуемая пластина	Сварочный ток I , А	Напряжение дуги U , В	Время наплавки t , с
1. Прямолинейная			
2. Криволинейная: $\rho =$ см, $\varphi =$ °			

7.4. Контрольные вопросы

1. Каковы достоинства инженерного метода расчёта?
2. Какие расчётные схемы используются в работе?

3. Как определяются временные деформации?
4. Как определяются остаточные деформации?

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА И КАЧЕСТВА ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Цель работы: овладение основами технологии газовой сварки, изучение оборудования и техники безопасности.

8.1. Содержание работы

Газовая сварка в основном применяется для тонколистовых стальных конструкций; сварки углеродистых и легированных сталей, подверженных трещинообразованию при нагреве; для цветных металлов и их сплавов, имеющих сравнительно малую температуру плавления; для сварки деталей из материалов, требующих предварительного подогрева, например из чугуна; для ремонтных и наплавочных работ.

На рис. 8.1 представлен пост газовой сварки. Газообразным кислородом наполняют кислородные баллоны голубого цвета ёмкостью 40 л под давлением 15 МПа. Количество кислорода V_k , л, определяется по формуле:

$$V_k = E \cdot P_k,$$

где E – водяная ёмкость баллона, л;

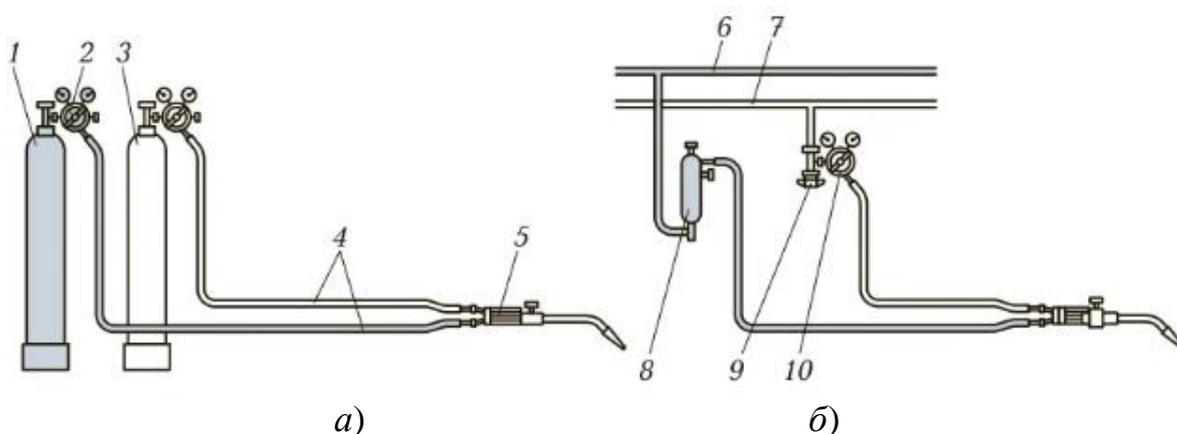
P_k – давление кислорода в баллоне по манометру, МПа.

Так, в заполненном баллоне кислорода содержится 6 м³.

Ацетиленовый баллон белого цвета, заполненный пористой массой из активированного угля, пропитанной ацетоном, наполняется газом при давлении 1,9 МПа. Его количество в баллоне V_a , л, находится по формуле:

$$V_a = 7 \cdot E \cdot P_a,$$

где 7 – поправочный коэффициент, учитывающий растворимость ацетилена;



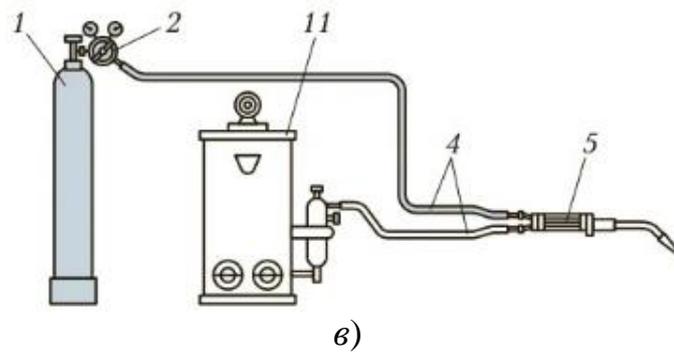


Рис. 8.1. Схемы газопитания рабочего поста: *а* – от баллонов; *б* – от газопроводов; *в* — от ацетиленового генератора; 1 – баллон с кислородом; 2 – кислородный редуктор; 3 – баллон с ацетиленом; 4 – шланги; 5 – горелка; 6 – кислородный трубопровод; 7 – ацетиленовый трубопровод; 8 – водяной затвор; 9 – кислородный вентиль; 10 – кислородный постовой редуктор; 11 – ацетиленовый генератор

P_a – давление ацетилена в баллоне по манометру, МПа.

В полном баллоне ацетилена содержится $5,32 \text{ м}^3$.

Ацетиленовый генератор служит для получения ацетилена из карбида кальция при взаимодействии его с водой:

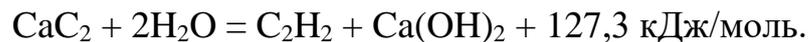


Схема ацетиленового генератора представлена на рис. 8.2. Вода заливается через горловину. При достижении уровня переливной трубки 4 вода по трубке переливается в промыватель 1, который заполняется до уровня контрольной пробки. Карбид кальция загружают в корзину 11. Уплотнение между крышкой 9 и горловиной обеспечивается мембраной усилием, создаваемым винтом 8. Ацетилен, образующийся в газообразователе 5, по трубке 4 поступает в промыватель 1, барботируя через слои воды, охлаждается и промывается. Из промывателя 1 ацетилен через вентиль предохранительного клапана 10 по шлангу поступает в предохранительный затвор 12 и далее к горелке или резаку. По мере повышения давления в газообразователе 5 пружина, находящаяся под крышкой 9, сжимается, в результате чего корзина 11 перемещается вверх, а вода вытесняется в вытеснитель 2.

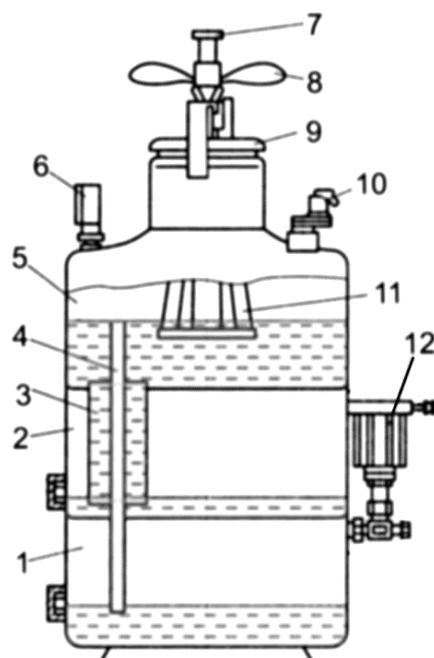


Рис. 8.2. Схема ацетиленового генератора:

- 1 – промыватель; 2 – вытеснитель; 3 – патрубок; 4 – переливная трубка;
 5 – газообразователь; 6 – манометр; 7 – шток; 8 – винт; 9 – крышка;
 10 – предохранительный клапан; 11 – корзина; 12 – затвор

В результате уровень замочки карбида уменьшается, выработка ацетилена ограничивается, и повышение давления прекращается. Давление ацетилена контролирует манометр 6.

Предохранительными жидкостными (водяными) затворами называются устройства, предназначенные для защиты ацетиленовых генераторов и трубопроводов для горючих газов от проникновения в них пламени при обратном ударе. Причинами появления обратного удара могут быть следующие: малая скорость горючего газа на выходе из горелки, касание горелкой изделия, засоренность мундштука горелки и др.

При нормальной работе (рис. 8.3, а) ацетилен из генератора или газопровода через кран 3 и внутреннюю (газоподводящую) трубу 4 поступает в корпус затвора 1, проходит через слой воды и через ниппель 6 выходит в шланг. При этом вода, имеющаяся в корпусе затвора, частично вытесняется давлением газа в межтрубное пространство, поскольку наружная (предохранительная) труба 5 имеет сверху открытую воронку 2, т. е. сообщается с атмосферой. Разность уровней воды в наружной трубе и корпусе затвора 1 и представляет собой величину давления газа в данный момент. Длина (высота) наружной трубы должна соответствовать максимальному давлению газа в генераторе или газопроводе, а поэтому по данной схеме постовые затворы выпускаются лишь на низкое давление – до $0,1 \text{ кгс/см}^2$, при большем давлении такие затворы были бы весьма громоздкими или вообще неприменимыми для работы.

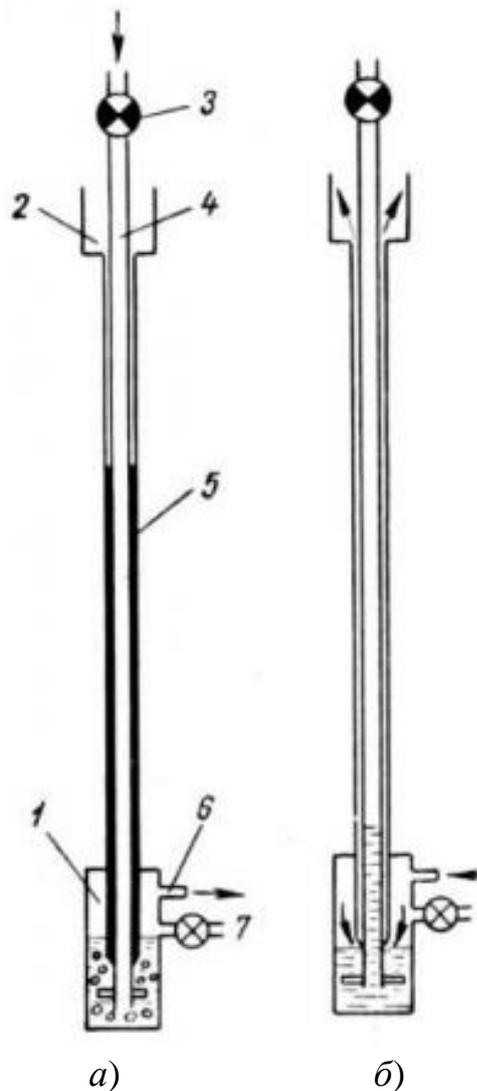


Рис. 8.3. Водяной затвор низкого давления:
а – нормальная работа; *б* – обратный удар

При обратном ударе пламени (рис. 8.3, *б*) взрывчатая смесь из горелки или резака попадает через ниппель 6 в корпус затвора 1, создавая в нем давление, которым вода вытесняется в трубы 5 и 4, причем в трубе 4 создается водяная пробка, препятствующая проникновению в нее взрывчатой смеси и дальнейшему поступлению ацетилену в затвор, а через короткую трубу 5 при понижении уровня воды до ее обреза взрывчатая смесь выбрасывается в атмосферу.

Имеющийся в воронке отражательный экран препятствует значительному выбросу воды вместе со смесью. Перед возобновлением работы после обратного удара необходимо при закрытом кране 3 проверить контрольным краном 7 уровень воды в затворе и при необходимости долить ее.

Газовые редукторы предназначены для понижения давления газа, поступающего из баллона или распределительного трубопровода, регулирования давления в инструменте (горелке или резаке) в зависимости от внешних возмущений и автоматического поддержания заданного рабочего давления на выходе инструмента независимо от изменения расхода газа потребителями.

Редуктор обратного действия (рис. 8.4) работает следующим образом.

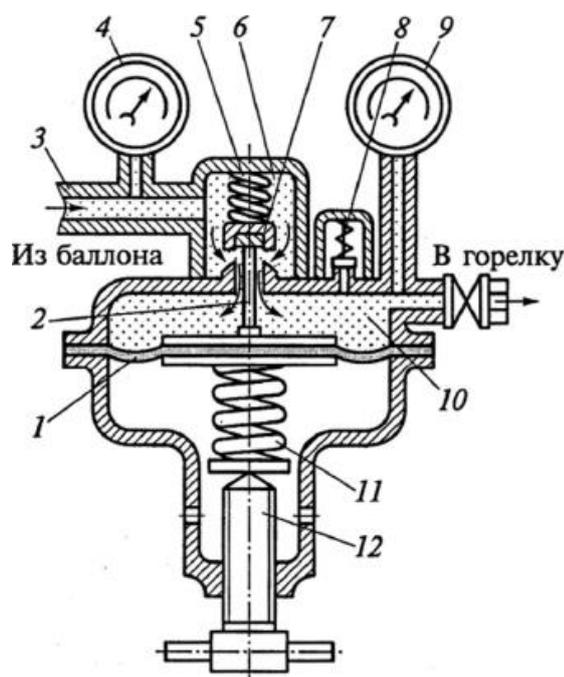


Рис. 8.4. Редуктор обратного действия:

- 1 – мембрана; 2 – передаточный диск со штоком;
3 – штуцер впуска газа; 4 – манометр высокого давления;
5 – вспомогательная пружина; 6 – камера высокого давления;
7 – редуцирующий клапан; 8 – предохранительный клапан;
9 – манометр низкого (рабочего) давления; 10 – камера низкого давления;
11 – главная нажимная пружина; 12 – регулировочный винт

Сжатый газ из баллона поступает в камеру высокого давления 6 и препятствует открыванию клапана 7. Для подачи газа в горелку или резак необходимо вращать по часовой стрелке регулирующий винт 12, который ввертывается в крышку. Винт сжимает нажимную пружину 11, которая в свою очередь выгибает гибкую резиновую мембрану 1 вверх. При этом передаточный диск со штоком сжимает обратную пружину 5, поднимая клапан 7, который открывает отверстие для прохода газа в камеру низкого давления 10. Открыванию клапана препятствует не только давление газа в камере высокого давления, но и пружина 5, имеющая меньшую силу, чем пружина 11. Автоматическое поддержание рабочего давления на заданном уровне происходит следующим образом. Если отбор газа в горелку или резак уменьшится, то давление в камере низкого давления повысится, нажимная пружина 11 сожмётся и мембрана 1 выправится, а передаточный диск со штоком 2 опустится и редуцирующий клапан 7 под действием пружины 5 прикроет седло клапана, уменьшив подачу газа в камеру низкого давления. При увеличении отбора газа процесс будет автоматически повторяться. Давление в камере высокого давления 6 измеряется манометром 4, а в камере низкого давления 10 – манометром 9. Если давление в рабочей камере повысится сверх нормы, то

при помощи предохранительного клапана 8 произойдет сброс газа в атмосферу.

Для выполнения сварки применяется сварочный инструмент, который называется горелка. В инжекторной горелке (рис. 8.5) кислород идёт через ниппель 10 и трубку 5, расположенную внутри рукоятки А, и поступает в сопло инжектора 13. За счёт создаваемого им разрежения ацетилен, поступающий через ниппель 11, подсасывается в смесительную камеру, где образуется горючая смесь, которая, выходя из мундштука 16, сгорает. При этом образуется сварочное пламя. На корпусе 1 расположены кислородный 2 и ацетиленовый 3 вентили для регулирования скорости подачи газов в смесительную камеру. Сменный наконечник Б присоединён к корпусу горелки накидной гайкой 17.

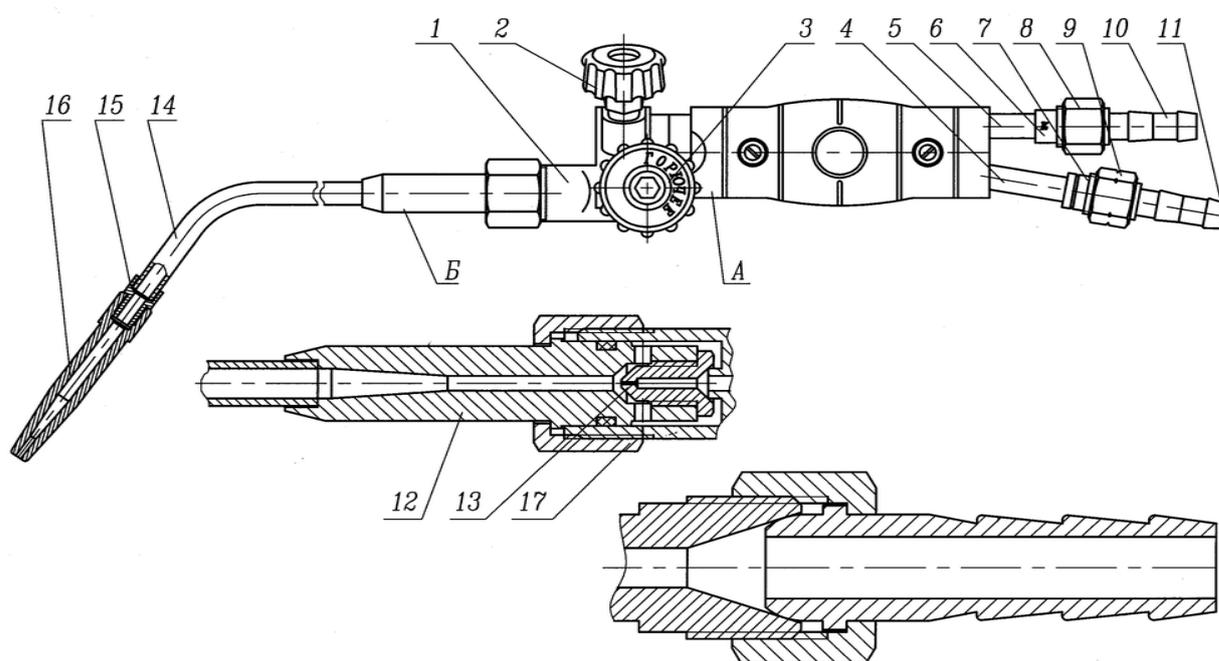


Рис. 8.5. Инжекторная горелка:

- А – ствол; Б – наконечник; 1 – корпус; 2 – вентиль кислорода;
 3 – вентиль горючего газа; 4, 5 – трубки; 6, 7 – штуцеры;
 8, 9 – накидные гайки; 10, 11 – ниппели; 12 – смесительная камера;
 13 – инжектор; 14 – трубка; 15 – ниппель; 16 – мундштук;
 17 – накидная гайка

Пламя (рис. 8.6) имеет три разновидности в зависимости от состава горючей смеси, характеризуемого коэффициентом β :

- нормальное: $\beta = 1,0$;
- окислительное: $\beta > 1,0$;
- науглероживающее: $\beta < 1,0$.

$$\beta = \frac{O_2}{C_2H_2}.$$

Наиболее широко используется нормальное пламя. Окислительное применяется при сварке латуни или для подогрева изделия. Восстановительным пламенем пользуются, чтобы упрочнить поверхностные слои изделия.

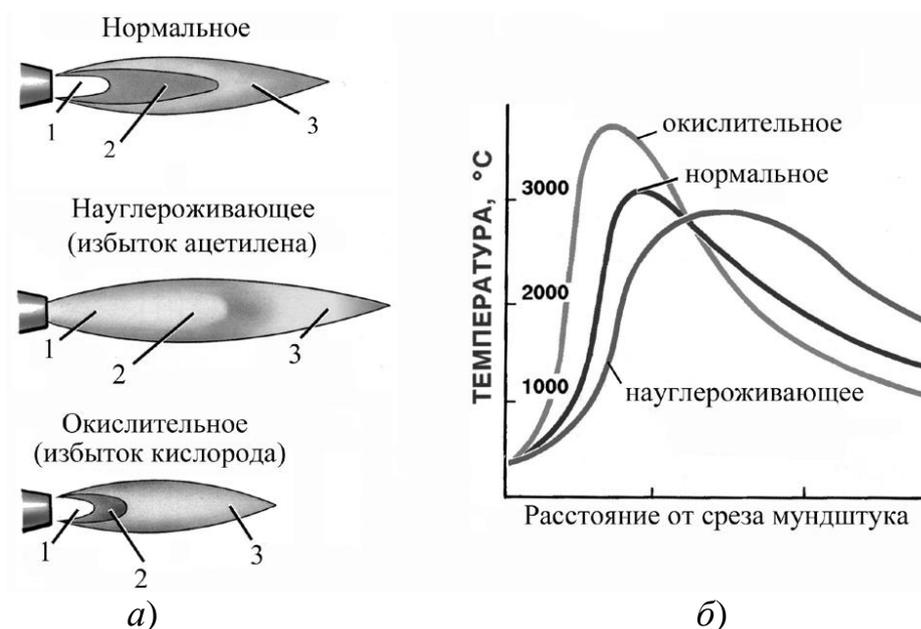


Рис. 8.6. Строение и виды газового пламени (а) и их температурная характеристика (б): 1 – ядро; 2 – восстановительная зона; 3 – факел

8.2. Порядок выполнения работы

Для изучения влияния вида пламени на качество сварного шва в работе используются две стальные пластины. Каждым видом пламени они провариваются на участке, равном одной трети длины шва. Затем изучается излом в местах сварки. Параметры режима и данные визуального наблюдения заносятся в табл. 8.1. Диаметр присадочного прутка равен половине толщины изделия.

Мощность пламени определяется по зависимости, л/ч:

$$V_{C_2H_2} = k \cdot \delta,$$

где $V_{C_2H_2}$ – расход ацетилена, л/ч;

k – коэффициент пропорциональности, $k = 130$;

δ – толщина изделия.

Таблица 8.1

Параметры режима сварки

Материал	Толщина δ , мм	Тип горелки	Номер нако- нечника	Диаметр присадочно- го прутка d , мм	Мощность пламени $V_{C_2H_2}$, л/ч	Скорость сварки V , м/ч	Вид пламени	Наличие де- фектов
							нормальное	
							окислительное	
							науглероживающее	

Скорость сварки определяется ориентировочно в зависимости от толщины свариваемого изделия и рассчитывается исходя из зафиксированного времени сварки.

8.3. Контрольные вопросы

1. Как работает газовый генератор?
2. Как работает газовый редуктор?
3. Каково назначение водяного затвора?
4. Как определить содержание газов в баллоне?
5. Как влияет вид пламени на качество сварного шва?

9. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы: развитие практических навыков в обращении с оборудованием и приборами, предназначенными для контроля сварных швов и наплавов.

9.1. Содержание работы

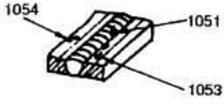
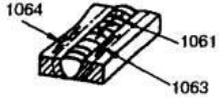
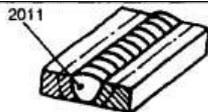
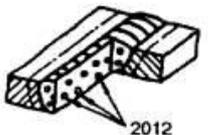
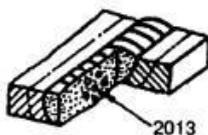
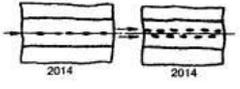
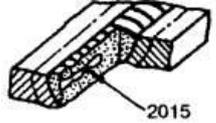
Контроль качества сварных соединений имеет важнейшее значение среди элементов технологического процесса изготовления или ремонта деталей и конструкций в целом. Целью предварительного контроля является проверка подготовки производства к выполнению сборочно-сварочных работ (материалы, приборы, оборудование и т.д.). Текущий контроль обеспечивает проверку правильности выполнения технологии сборки-сварки в процессе изготовления изделий (параметры режима сварки, показания измерительных приборов, внешний вид шва и т.д.). Окончательный контроль даёт оценку качества изготовленного изделия. При этом осуществляются механические испытания, исследования специальных свойств металла шва (износ и коррозионная стойкость, жаропрочность и др.) и поиск дефектов с помощью физических методов: гамма- и рентгенографии, акустических, магнитных, электромагнитных и др.

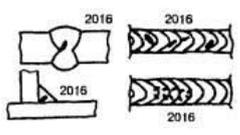
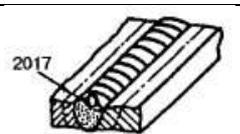
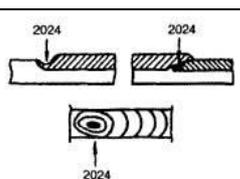
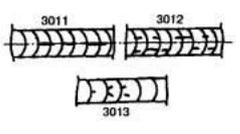
Основные дефекты сварки и причины их образования представлены в табл. 9.1 согласно ГОСТ 30242.

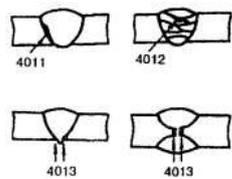
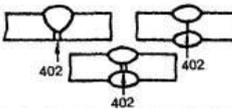
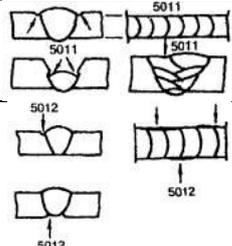
Таблица 9.1

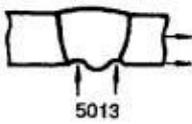
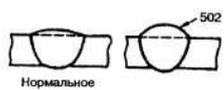
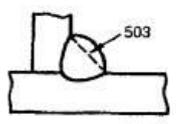
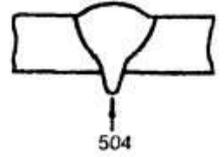
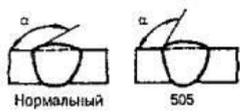
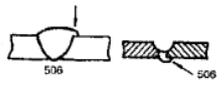
Дефекты соединений при сварке металлов плавлением

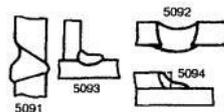
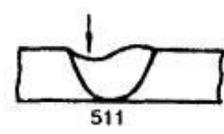
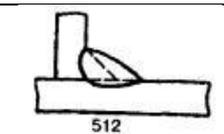
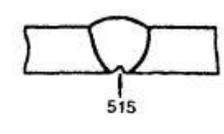
Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
цифровое	используемое МИС*			
Группа 1. Трещины				
100	Е	Трещина	Несплошность, вызванная местным разрывом шва, который может возникнуть в результате охлаждения или действия нагрузок	
1001		Микротрещина	Трещина, имеющая микроскопические размеры, которую обнаруживают физическими методами не менее чем при пятидесятикратном увеличении	
101	Еа	Продольная трещина	Трещина, ориентированная параллельно оси сварного шва. Она может располагаться:	
1011			в металле сварного шва;	
1012			на границе сплавления;	
1013			в зоне термического влияния;	
1014			в основном металле	
102	Еб	Поперечная трещина	Трещина, ориентированная поперек оси сварного шва. Она может располагаться:	
1021			в металле сварного шва;	
1023			в зоне термического влияния;	
1024			в основном металле	
103	Е	Радиальные трещины	Трещины, радиально расходящиеся из одной точки. Они могут быть:	
1031			в металле сварного шва;	
1033			в зоне термического влияния;	
1034			в основном металле	
104	Ес	Трещина в кратере	Трещина в кратере сварного шва, которая может быть:	
1045			продольной;	

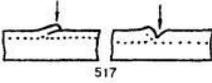
Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
цифровое	используемое МИС*			
1046			поперечной;	
1047			звездообразной	
105	Е	Раздельные трещины	Группа трещин, которые могут располагаться:	
1051			в металле сварного шва;	
1053			в зоне термического влияния;	
1054			в основном металле	
106	Е	Разветвленные трещины	Группа трещин, возникших из одной трещины. Они могут располагаться:	
1061			в металле сварного шва;	
1063			в зоне термического влияния;	
1064			в основном металле	
Группа 2. Поры				
200	А	Газовая полость	Полость произвольной формы, образованная газами, задержанными в расплавленном металле, которая не имеет углов	
2011	Аа	Газовая пора	Газовая полость обычно сферической формы	
2012		Равномерно распределенная пористость	Группа газовых пор, распределенных равномерно в металле сварного шва. Следует отличать от цепочки пор (2014)	
2013		Скопление пор	Группа газовых полостей (три или более), расположенных кучно с расстоянием между ними менее трех максимальных размеров большей из полостей	
2014		Цепочка пор	Ряд газовых пор, расположенных в линию, обычно параллельно оси сварного шва, с расстоянием между ними менее трех максимальных размеров большей из пор	
2015	Аб	Продолговатая полость	Несплошность, вытянутая вдоль оси сварного шва. Длина несплошности не менее чем в два	

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
цифровое	используемое МИС*			
			раза превышает высоту	
2016	Ab	Свищ	Трубчатая полость в металле сварного шва, вызванная выделением газа. Форма и положение свища определяются режимом затвердевания и источником газа. Обычно свищи группируются в скопления и распределяются елочкой	
2017		Поверхностная пора	Газовая пора, которая нарушает сплошность поверхности сварного шва	
202	R	Усадочная раковина	Полость, образуемая вследствие усадки во время затвердевания	
2024	K	Кратер	Усадочная раковина в конце валика сварного шва, не заваренная до или во время выполнения последующих проходов	
Группа 3. Твердые включения				
300	Ba	Твердое включение	Твердые инородные вещества металлического или неметаллического происхождения в металле сварного шва. Включения, имеющие хотя бы один острый угол, называются остроугольными включениями	
301		Шлаковое включение	Шлак, попавший в металл сварного шва. В зависимости от условий образования такие включения могут быть: линейными; разобщенными; прочими	
3011				
3012				
3013				
302	G	Флюсовое включение	Флюс, попавший в металл сварного шва. В зависимости от условий образования такие включения могут быть: линейными;	См. 3011-3013
3021				

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
цифровое	используемое МИС*			
3022			разобщенными; прочими	
3023				
303	J	Оксидное включение	Оксид металла, попавший в металл сварного шва во время затвердевания	
304	H	Металлическое включение	Частица инородного металла, попавшая в металл сварного шва. Различают частицы из: вольфрама; меди; другого металла	
3041				
3042				
3043				
Группа 4. Несплавление и непровар				
401		Несплавление	Отсутствие соединения между металлом сварного шва и основным металлом или между отдельными валиками сварного шва. Различают несплавления: по боковой стороне; между валиками; в корне сварного шва	
4011				
4012				
4013				
402	D	Непровар (неполный провар)	Несплавление основного металла по всей длине шва или на участке, возникающее вследствие неспособности расплавленного металла проникнуть в корень соединения	
Группа 5. Нарушение формы шва				
500		Нарушение формы	Отклонение формы наружных поверхностей сварного шва или геометрии соединения от установленного значения	
5011	F	Подрез непрерывный	Углубление продольное на наружной поверхности валика сварного шва, образовавшееся при сварке	
5012	F			

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
цифровое	используемое МИС*			
5013		Усадочная канавка	Подрез со стороны корня одностороннего сварного шва, вызванный усадкой по границе сплавления (см. также 512)	
502		Превышение выпуклости стыкового шва	Избыток наплавленного металла на лицевой стороне стыкового шва сверх установленного значения	
503		Превышение выпуклости углового шва	Избыток наплавленного металла на лицевой стороне углового шва (на всей длине или на участке) сверх установленного значения	
504		Превышение проплава	Избыток наплавленного металла на обратной стороне стыкового шва сверх установленного значения	
5041		Местное превышение проплава	Местный избыточный проплав сверх установленного значения	
505		Неправильный профиль сварного шва	Угол α между поверхностью основного металла и плоскостью, касательной к поверхности сварного шва, менее установленного значения	
506		Наплав	Избыток наплавленного металла сварного шва, натекающий на поверхность основного металла, но не сплавленный с ним	
507		Линейное смещение	Смещение между двумя свариваемыми элементами, при котором их поверхности располагаются параллельно, но не на требуемом уровне	
508		Угловое смещение	Смещение между двумя свариваемыми элементами, при котором их поверхности располагаются под углом, отличающимся от требуемого	

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
цифровое	используемое МИС*			
509		Натек	Металл сварного шва, осевший вследствие действия силы тяжести и не имеющий сплавления с соединяемой поверхностью	
			В зависимости от условий это может быть:	
5091			натек при горизонтальном положении сварки;	
5092			натек в нижнем или потолочном положении сварки;	
5093			натек в угловом сварном шве;	
5094			натекание в шве нахлесточного соединения	
510		Прожог	Вытекание металла сварочной ванны, в результате которого образуется сквозное отверстие в сварном шве	
511		Не полностью заполненная разделка кромок	Продольная непрерывная или прерывистая канавка на поверхности сварного шва из-за недостаточности присадочного металла при сварке	
512		Чрезмерная асимметрия углового шва	Чрезмерное превышение размеров одного катета над другим	
513		Неравномерная ширина шва	Отклонение ширины от установленного значения вдоль сварного шва	
514		Неровная поверхность	Грубая неравномерность формы поверхности усиления шва по длине	
515		Вогнутость корня шва	Неглубокая канавка со стороны корня одностороннего сварного шва, образовавшаяся вследствие усадки (см. также 5013)	
516		Пористость в корне сварного шва	Наличие пор в корне сварного шва вследствие возникновения пузырьков во время затвердевания металла	

Обозначение дефекта		Наименование дефекта	Определение и/или пояснение дефекта	Рисунки сварных швов и соединений с дефектами
цифровое	используемое МИС*			
517		Возобновление	Местная неровность поверхности в месте возобновления сварки	
Группа 6. Прочие дефекты				
600		Прочие дефекты	Все дефекты, которые не могут быть включены в группы 1-5	
601		Случайная дуга	Местное повреждение поверхности основного металла, примыкающего к сварному шву, возникшее в результате случайного горения дуги	
602		Брызги металла	Капли наплавленного или присадочного металла, образовавшиеся во время сварки и прилипшие к поверхности затвердевшего металла сварного шва или околошовной зоны основного металла	
6021		Вольфрамовые брызги	Частицы вольфрама, выброшенные из расплавленной зоны электрода на поверхность основного металла или затвердевшего металла сварного шва	
603		Поверхностные задиры	Повреждение поверхности, вызванное удалением временно приваренного приспособления	
606		Утонение металла	Уменьшение толщины металла до значения менее допустимого при механической обработке	

* Международный институт сварки

Дефекты классифицированы на шесть следующих групп:

- 1 - трещины;
- 2 - полости, поры;
- 3 - твердые включения;
- 4 - несплавления и непровары;
- 5 - нарушение формы шва;

б - прочие дефекты, не включенные в вышеперечисленные группы.

При проверке качества сварного соединения наиболее целесообразно использовать комбинированный контроль – рентгенографический и ультразвуковой, чаще всего практикуемый при проверке наиболее ответственных сварных конструкций: несущих ферм мостов, опорных балок строительных конструкций, котлов и др.

Дефектоскоп, схема которого представлена на рис. 9.1, работает следующим образом.

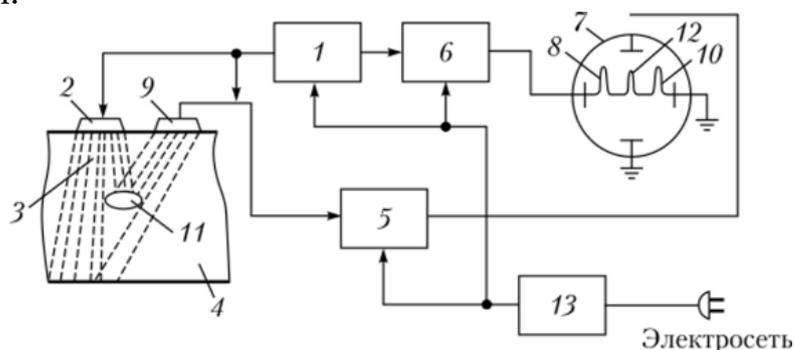


Рис. 9.1. Блок-схема импульсного ультразвукового дефектоскопа с приемом отраженного сигнала: 1 – импульсный генератор; 2 – излучающая пластинка; 3 – ультразвуковой пучок; 4 – исследуемое изделие; 5 – усилитель; 6 – генератор развёртки; 7 – электронно-лучевая трубка; 8 – начальный импульс; 9 – приёмная пластинка; 10 – донный импульс; 11 – дефект; 12 – импульс от дефекта; 13 – блок питания

От импульсного генератора 1 на излучающую пластинку 2 подается кратковременный импульс переменного напряжения (продолжительностью 3...5 мкс). Под действием его в пластинке возбуждаются колебания, которые в виде узкого пучка ультразвука 3 передаются в исследуемое изделие 4. Одновременно с подачей переменного напряжения на излучающую пластинку такой же импульс подается в усилитель 5, а также в специальное устройство 6, заставляющее электронный луч в электронно-лучевой трубке 7 быстро передвигаться по горизонтали слева направо.

Этот луч прочеркивает светящуюся линию на экране трубки, где появлялся всплеск 8, называемый начальным импульсом. При отсутствии дефектов в исследуемом изделии узкий ультразвуковой пучок 3 пройдет до противоположной его поверхности, отразится от нее и, дойдя до первой (верхней на рисунке) поверхности, попадет на приемную пластинку 9 и заставит ее колебаться. Возникшая на приемной пластине разность потенциалов усиливается. Усиленные сигналы, подключенные к электронно-лучевой трубке, вызывают на правой стороне ее экрана всплеск 10, называемый донным импульсом.

Если внутри исследуемого изделия есть дефект 11, то ультразвук дойдет до него раньше, чем до противоположной грани, частично отразится от границы дефекта и попадет на приемную пластину раньше. Вследствие этого на экране трубки между начальным импульсом 8 и донным импульсом 10 воз-

никнет третий импульс 12, показывающий присутствие дефекта в исследуемом изделии. По расстоянию между импульсами, отраженными на экране трубки, можно определить глубину залегания дефекта, а положение искаженных щупов на поверхности изделия показывает расположение дефекта в горизонтальной проекции. Дефектоскоп питается от сети переменного тока через специальный блок питания 13.

Металлографический контроль необходим для исследования структуры металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ). Для надёжности контроля зачастую пользуются различными методами определения макро- и микротвёрдости. Структура и твёрдость сварных соединений из горяче- и холоднокатаной малоуглеродистой стали показаны на рис. 9.2. Характеристика участков сварного шва приведена в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Строение зоны термического влияния сварного шва

№	Структура металла	Температура, °С	Ширина, мм
1	Столбчатая, литая, с пониженными механическими свойствами	1530 ± 5	½ ширины шва
2	Рост зерна, образование игольчатой структуры с повышенной хрупкостью	1530...1470	0,1...0,4
3	Крупнозернистое строение с пониженной ударной вязкостью и пластичностью	1470...1100	3...4
4	Измельчение зерна, повышение механических свойств	1100...880	0,2...4,0
5	Смешанное строение из мелких и крупных зёрен с пониженными механическими свойствами	880...720	0,1...1,0
6	Восстановление формы и размеров зёрен металла	720...510	0,1...1,5
7	Структурных изменений не имеет	510...200	0,8...12

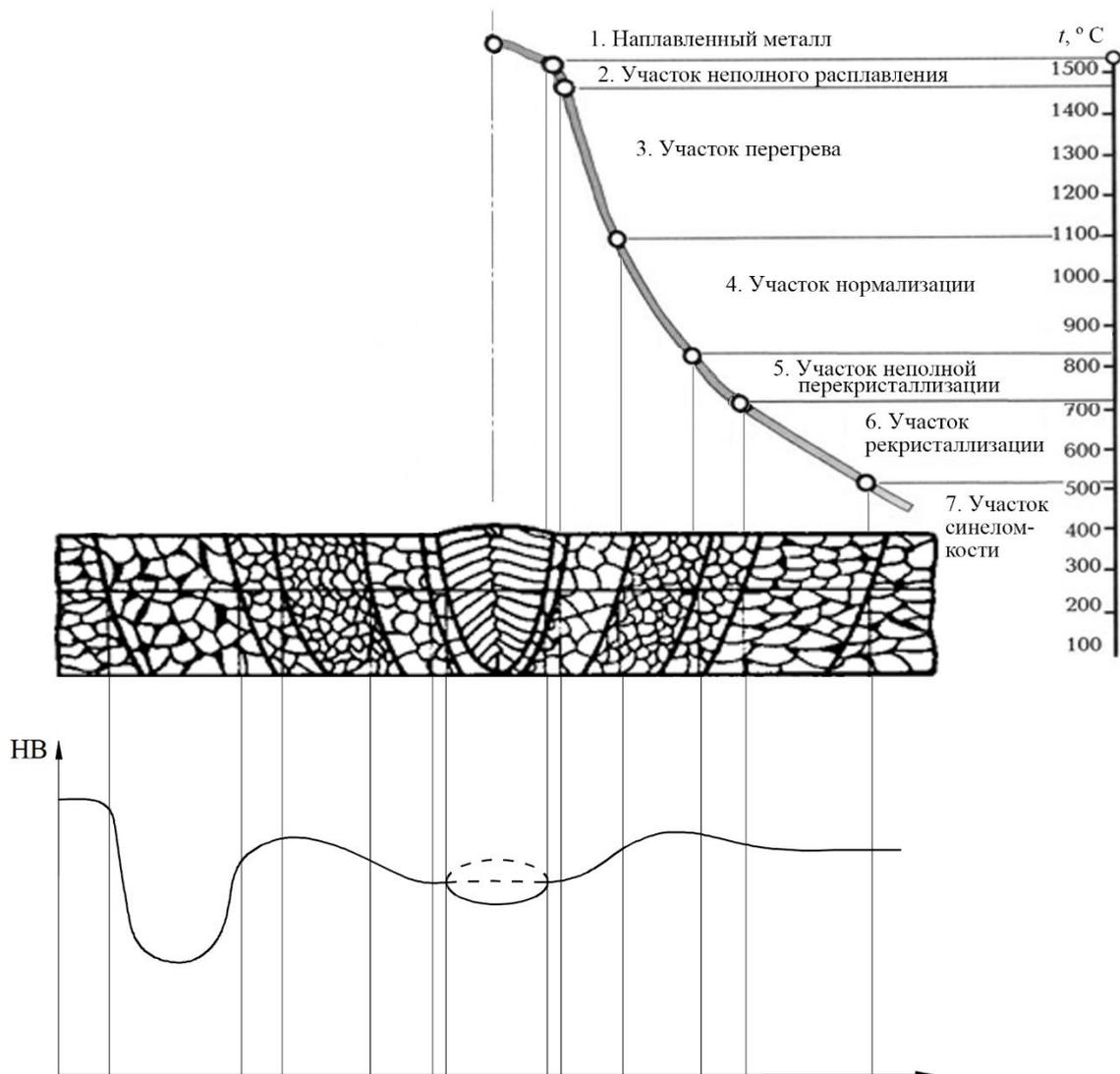


Рис. 9.2. Структура и твёрдость сварных соединений малоуглеродистой нелегированной стали: горячекатаной (справа) и холоднокатаной (слева)

9.2. Контрольные вопросы

1. Какие дефекты могут обнаруживаться в сварном шве или при наплавке?
2. Из каких основных элементов состоит ультразвуковой дефектоскоп?
3. Как осуществляется поиск дефекта сварки с помощью ультразвукового метода?
4. В чём принцип ультразвукового контроля несплошностей материала?
5. На какие участки делится зона термического влияния сварки (наплавки)?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арзамасов В.Б. Материаловедение: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по машиностроительным направлениям / В. Б. Арзамасов, А. А. Черепяхин. – М.: Академия, 2013. - 172 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев – М.: Книга по Требованию, 2013. – 542 с
3. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справ. изд. / Банных О.А., Будберг П.Б., Алисова С.П. и др. М.: Металлургия, 1986 г. 440 с.
4. Материаловедение: учебное пособие по лабораторным работам по дисциплине «Материаловедение». Часть 1 / Д.А. Жуков, Д.П. Кононов, Н.Ю. Шадрина, А.А. Соболев. – СПб.: ПГУПС, 2010. – 72 с.
5. Материаловедение: учебное пособие по лабораторным работам по дисциплине «Материаловедение». Часть 2 / А.А. Воробьев, Д.А. Жуков, Д.П. Кононов, Н.Ю. Шадрина, А.А. Соболев. – СПб.: ПГУПС, 2011. – 78 с.
6. Юхин Н.А. Механизированная дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах / Н.А. Юхин. – М.: Изд-во «Союзло», 2008. – 72 с.
7. Юхин Н.А. Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитных газах / Н.А. Юхин. – М.: Изд-во «Союзло», 2007. – 48 с.
8. Лосев В.А. Иллюстрированное пособие сварщика / В.А. Лосев, Н.А. Юхин. – М.: Изд-во «Союзло», 2000. – 58 с.