

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

# ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности  
1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства»  
дневной и заочной форм обучения*

Часть 1



Могилев 2023

УДК 621.791  
ББК 30.606  
Т38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «18» ноября 2022 г., протокол № 6

Составитель канд. техн. наук, доц. А. О. Коротеев

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

Методические рекомендации предназначены для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

## ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

### Часть 1

Ответственный за выпуск	А. О. Коротеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

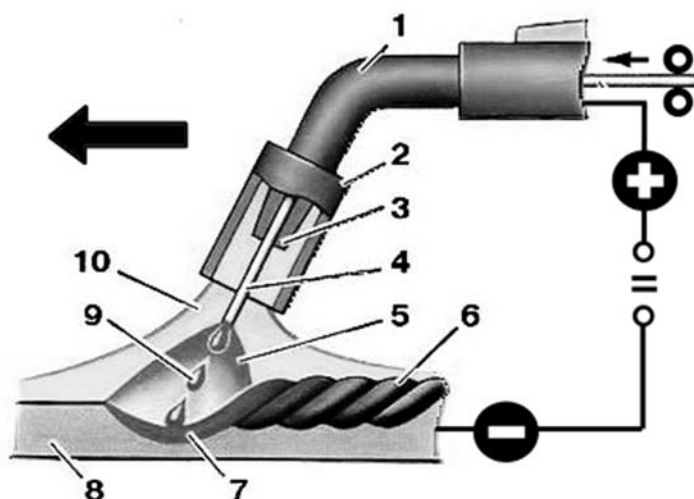
1 Лабораторная работа № 1. Изучение технологии механизированной сварки в защитных газах .....	4
2 Лабораторная работа № 2. Изучение технологии импульсно-дуговой сварки в защитных газах плавящимся электродом (Pulse MIG) с использованием программы стабилизации значений параметров режима ESAB QSet на базе полуавтомата Aristo Mig V500.....	11
3 Лабораторная работа № 3. Доля основного металла в металле шва и погонная энергия.....	17
4 Лабораторная работа № 4. Исследование факторов, влияющих на производительность процесса ручной дуговой сварки.....	24
5 Лабораторная работа № 5. Исследование факторов, влияющих на производительность сварки в защитных газах.....	29
6 Лабораторная работа № 6. Исследование влияния параметров режима автоматической сварки в среде углекислого газа на размеры и форму сварного шва.....	33
7 Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ.....	40
8 Действия на случай возникновения загорания, пожара.....	41
9 Действия на случай других аварийных ситуаций.....	42
Список литературы.....	42

# 1 Лабораторная работа № 1. Изучение технологии механизированной сварки в защитных газах

**Цель работы:** ознакомиться с особенностями процесса, принципом выбора режимов и технологией дуговой сварки в  $\text{CO}_2$ ; изучить устройство и принцип работы сварочного полуавтомата.

## 1.1 Общие теоретические сведения

Дуговая сварка в углекислом газе является одним из способов сварки в защитных газах (рисунок 1.1). Она выполняется чаще всего плавящимся электродом – «голой» электродной проволокой сплошного сечения или порошковой проволокой на постоянном токе обратной полярности. Защита расплавленного металла сварочной ванны осуществляется струёй углекислого газа, подаваемого в зону горения дуги в зазор между мундштуком 3 и соплом 2 горелки для дуговой сварки.



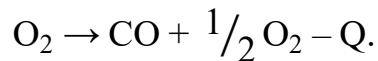
1 – горелка; 2 – сопло горелки; 3 – токоподводящий мундштук; 4 – электродная проволока; 5 – зона горения дуги; 6 – сварной шов; 7 – сварочная ванна; 8 – свариваемое изделие; 9 – капля электродного металла; 10 – защитный газ (в данной работе  $\text{CO}_2$ )

Рисунок 1.1 – Схема процесса дуговой сварки в защитном газе плавящимся электродом (обратная полярность)

Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) – бесцветный газ со слабым запахом и плотностью  $1,839 \text{ кг/м}^3$ . Он тяжелее воздуха, что обеспечивает хорошую защиту сварочной ванны. Поставляется в сжиженном состоянии под давлением  $500 \dots 600 \text{ МПа}$  в стальных баллонах чёрного цвета. При испарении  $1 \text{ кг}$  углекислоты выделяется  $509 \text{ дм}^3$  газа. Для сварки используется техническая углекислота первого ( $99,5 \text{ \% CO}_2$ ) и второго ( $98,5 \text{ \% CO}_2$ ) сорта. Защитные свойства  $\text{CO}_2$  определяются не только его чистотой, но и скоростью струи, зависящей от размеров выходного сопла горелки. Скорость истечения

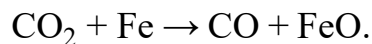
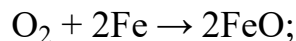
газа (0,6...1,5 м/с) должна обеспечивать ламинарный характер потока с наименьшим перемешиванием газа с воздухом, отсутствие подсоса воздуха и образование воздушных мешков. Чрезмерно большая скорость истечения защитного газа может вызывать его завихрение и подсос воздуха в зону сварки вследствие инжекции.

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



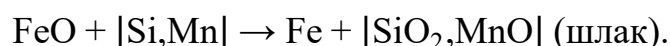
На диссоциацию  $\text{CO}_2$  расходуется 20 %...25 % тепловой мощности дуги. В зоне, окружающей столб дуги и имеющей более низкую температуру, постоянно идёт процесс рекомбинации молекул  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ , сопровождающийся выделением теплоты.

Образующийся в результате диссоциации и попавший в зону сварки кислород и  $\text{CO}_2$  окисляют металл сварочной ванны по реакциям



При сварке углеродистых и низколегированных сталей в сварочной ванне протекают реакции окисления углерода (C), марганца (Mn), кремния (Si) и других элементов.

С целью подавления реакций окисления углерода, удаления образующейся окиси железа  $\text{FeO}$  и предотвращения образования пор сварка в углекислом газе ведётся проволоками марок Св-08ГСА, Св-08Г2С, Св-10ГС, Св-07ГСЮ и другими с повышенным содержанием марганца, кремния и алюминия. Это делается, главным образом, с целью раскисления металла сварочной ванны элементами, имеющими большее по отношению к железу сродство с кислородом (Al, Si, Mn). При взаимодействии марганца и кремния с закисью железа  $\text{FeO}$  происходит восстановление железа и образование шлака по реакции



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

Сварка самозащитными проволоками (порошковыми и сплошного сечения) выполняется без  $\text{CO}_2$  и применяется в монтажных условиях.

Сварка в углекислом газе обеспечивает:

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

– высокую стабильность процесса в широком диапазоне токов;

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

– возможность наблюдения за сварочной ванной и формированием шва.

Для выполнения дуговой сварки в углекислом газе применяются сварочные полуавтоматы и автоматы. Источником тока в них чаще всего служат выпрямители с жёсткой или пологопадающей характеристикой.

Полуавтомат для сварки в защитных газах состоит из горелки, механизма подачи электродной проволоки, пульта управления, источника питания с встроенным блоком управления, газового редуктора с расходомером, подогревателя газа, соединительных шлангов и проводов.

Перемещение сварочной горелки вдоль кромок свариваемых заготовок с требуемой скоростью осуществляется оператором вручную. Горелка служит для направления в зону дуги электродной проволоки и защитного газа и подвода к проволоке сварочного тока. Горелка комплектуется сменными соплами для подвода и направления газа.

Механизм подачи обеспечивает непрерывную подачу в зону дуги электродной проволоки с требуемой скоростью по мере её расплавления. На нём размещены кассета с электродной проволокой и пульт управления. Источник питания обеспечивает преобразование трёхфазного переменного тока в постоянный ток, с жёсткой внешней характеристикой, а также регулирование величины сварочного тока и напряжения в требуемых пределах. Блок управления предназначен для регулирования и стабилизации скорости подачи электродной проволоки, регулирования сварочного тока и напряжения. Газовый редуктор с расходомером даёт возможность регулировать и поддерживать постоянным давление и расход углекислого газа. Подогреватель обеспечивает подогрев и улучшение испарения углекислоты (т. к. в баллоне она находится в жидком состоянии) и предотвращает замерзание канала прохода газа при перепаде давления.

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

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

2) пропустить электродную проволоку через шланг горелки, нажав тумблер перемещения проволоки на пульте управления, и установить требуемый вылет электродной проволоки;

3) открыть вентиль баллона с углекислым газом и вращением винта редуктора-расходомера установить требуемое давление на выходе;

4) установить выбранную скорость подачи электродной проволоки;

- 5) установить выбранную величину напряжения сварочной дуги;
- 6) установить горелку под углом  $75^{\circ}\dots 80^{\circ}$  к свариваемым заготовкам на расстоянии 10...25 мм от них;
- 7) нажать включатель на горелке.

При нажатии происходит включение газового клапана и углекислый газ, проходя по системе, вытесняет из неё воздух. Спустя примерно одну секунду включаются выпрямитель и привод подачи электродной проволоки. Электродная проволока подаётся из кассеты по гибкому направляющему каналу в зону дуги. При замыкании электрода на заготовку зажигается дуга. При наличии длинных шлангов и удалённого расположения сварщика от подающего механизма рекомендуется предварительно продуть газовый шланг защитным газом (на современных сварочных полуавтоматах есть специальная функция).

Режим дуговой сварки в углекислом газе определяется силой сварочного тока, полярностью и напряжением дуги, маркой, диаметром и скоростью подачи электродной проволоки, составом и расходом  $\text{CO}_2$ , а также наклоном сварочной горелки. Режим выбирается в зависимости от толщины и марки свариваемого материала, типа соединения, пространственного положения шва.

Сила тока и полярность дуги определяют скорость расплавления электродной проволоки и глубину проплавления свариваемого металла. Сила сварочного тока устанавливается в зависимости от необходимой глубины проплавления в условиях сварки конкретного изделия, а также выбранного диаметра электродной проволоки. С увеличением силы тока увеличивается глубина проплавления и повышается производительность сварки.

При дуговой сварке в углекислом газе на постоянном токе обратной полярности увеличивается разогрев электрода, уменьшается глубина проплавления основного металла, увеличивается доля электродного металла в шве. В случае использования прямой полярности скорость расплавления металла заготовок в 1,4–1,6 раза выше, чем при ручной сварке покрытыми электродами, но дуга горит менее стабильно и интенсивнее разбрызгивается электродный металл.

Напряжение дуги является также важным параметром, определяющим характер горения и длину дуги. Оно устанавливается в зависимости от выбранного сварочного тока и может изменяться в некотором диапазоне значений, что позволяет оказывать влияние на условия формирования шва. С увеличением напряжения дуги увеличивается ширина шва и уменьшается глубина проплавления основного металла.

Марку и диаметр электродной проволоки выбирают в зависимости от свариваемого металла, конструктивных и технологических особенностей сварной конструкции. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяют электродные проволоки марок Св-08Г2С, Св-08ГС, Св-07ГСЮ диаметром 0,8...1,6 мм. Эти проволоки легированы в основном кремнием, марганцем и алюминием в качестве элементов раскислителей.

Скорость подачи электродной проволоки выбирается с таким расчётом, чтобы обеспечить устойчивое горение дуги. В целом, скорость подачи проволоки и сила сварочного тока взаимосвязаны. Это обусловлено саморегулированием

дуги. Для обеспечения стабильного процесса сварки скорость плавления электродной проволоки должна быть равна скорости её подачи. В противном случае либо произойдёт замыкание проволоки на изделие, либо обрыв дуги вследствие чрезмерного увеличения её длины. Так как скорость подачи проволоки задаётся приводом подающего механизма и легко регулируется, то в большинстве сварочных полуавтоматов сила тока устанавливается посредством задания скорости подачи проволоки. Следует отметить, что изменение напряжения в этих условиях не оказывает влияние на силу сварочного тока, а изменяет длину дуги.

Вылет электродной проволоки (длина между её концом и выходом из мундштука) оказывает значительное влияние на устойчивость процесса сварки и качество формирования шва. С увеличением вылета ухудшается устойчивость горения дуги и увеличивается разбрызгивание. При сварке с очень малым вылетом затрудняется наблюдение за процессом и часто подгорает контактный токоподводящий мундштук. Однако, в некоторых случаях, сварка на повышенном вылете может обеспечивать повышенную производительность вследствие ускоренного плавления электродной проволоки, что обусловлено её дополнительным подогревом теплом, выделяющимся вследствие прохождения электрического тока через участок сопротивления.

Ориентировочный режим сварки в углекислом газе стыковых соединений без разделки кромок в нижнем положении проволокой Св-08Г2С приведён в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Ориентировочный режим механизированной дуговой сварки в углекислом газе стыковых швов без разделки кромок в нижнем положении проволокой Св-08Г2С

Толщина основного металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Значение параметров режима сварки					
		Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, дм <sup>3</sup> /мин	Количество проходов
2,0	0,8	110...140	19...21	20...30	7...12	6...7	1
	1,0	130...150	20...21	30...35	8...13	6...8	1
	1,2	160...180	21	35...40	9...15	6...8	1
3...4	1,0	140...160	20...21	20...30	8...13	7...9	1
	1,2	150...170	20...21	25...35	9...15	7...9	2
	1,2	190...230	21	30...40	9...15	7...10	2
5...8	1,6	180...220	23...26	20...35	15...20	12...15	2
	2,0	200...240	24...28	25...35	15...20	12...15	2
	2,0	260...280	28...30	25...30	15...25	15...17	2
10	2,0	280...300	28...30	25...30	20...25	15...17	2
12	2,0	380...400	30...32	20...30	20...25	15...17	2



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

### 1.2 Оборудование, приборы и материалы

1 Пост для механизированной сварки в защитных газах со сварочным полуавтоматом.

2 Баллоны с углекислым газом.

3 Электродная проволока Св-08Г2С, Св-08ГС.

4 Защитные щитки.

5 Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали размером  $30 \times 10 \times 100$  мм.

6 Набор слесарного инструмента.

### 1.3 Порядок проведения работы

1 Ознакомиться с сущностью процесса дуговой сварки в углекислом газе.

2 Изучить принцип работы и устройство сварочного полуавтомата.

3 Подготовить таблицу для записей результатов экспериментов (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Результаты экспериментов

Номер опыта	Значение параметров режима сварки						Результат
	Полярность	Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Расход защитного газа, дм <sup>3</sup> /мин	
1							
2							
3							
4							
...							
6							

4 Выбрать режим сварки лабораторного образца (марку стали указывает преподаватель). Провести настройку оборудования и подготовить образцы для сварки. Значения параметров режима сварки можно предварительно определить расчётным путём по следующим формулам.

Для сварки в среде углекислого газа силу сварочного тока можно определить по формуле

$$I_{св} = \frac{H_{np}}{K_n} \cdot 100, \quad (1.1)$$

где  $I_{св}$  – глубина проплавления, мм;

$K_n$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий сварки (для сварки проволокой  $d_{np} = 1,2$  мм принимаем  $K_n = 1,75$ ).

После вычисления сварочного тока уточняем диаметр сварочной проволоки по формуле

$$j_{св} = \frac{4I_{св}H_{np}}{\pi \cdot d_э^2} \cdot 100, \quad (1.2)$$

где  $j_{св}$  – допустимая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Значения допустимой плотности тока приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Значения допустимой плотности тока

Диаметр электрода, мм	< 2	2	3	4	5
$j_{св}, \text{А/мм}^2$	90...200	60...120	45...90	35...60	30...50

Напряжение на дуге можно определить по формуле

$$U_{св} = \frac{20 + 50 \cdot 10^{-3}}{d_э^{0,5}} \cdot I_{св}. \quad (1.3)$$

Скорость сварки определяем по формуле

$$V_{св} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_n \cdot 100}, \quad (1.4)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, г/(А·ч) (для сварки в CO<sub>2</sub>  $\alpha_n = 13$  г/(А·ч));

$\gamma$  – плотность металла,  $\gamma = 7,8$  г/см<sup>3</sup>;

$F_n$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см<sup>2</sup>.

Скорость подачи сварочной проволоки определяется по формуле

$$V_{n,np} = \frac{\alpha_n \cdot I_{св}}{\gamma \cdot F_э \cdot 100}, \quad (1.5)$$

где  $F_э$  – площадь сечения сварочной проволоки, см<sup>2</sup>.

5 Сварить образцы на различных значениях параметров режима и проанализировать полученные результаты.

6 Сделать выводы о влиянии параметров режима на стабильность процесса сварки и качество формирования сварного шва.

## **1.4 Содержание отчета**

- 1 Цель работы.
- 2 Упрощённая схема и краткое описание процесса дуговой сварки в углекислом газе.
- 3 Используемое оборудование и материалы.
- 4 Устройство и порядок настройки сварочного полуавтомата.
- 5 Таблица результатов экспериментов.
- 6 Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Каковы основные особенности процесса сварки в углекислом газе? Преимущества и недостатки.
- 2 Особенности горения дуги в углекислом газе. Какое влияние оказывает на характер горения дуги термическая диссоциация углекислого газа?
- 3 Почему проволока для сварки в углекислом газе легируется кремнием и марганцем? Что такое раскисление? Куда удаляются продукты раскисления?
- 4 На основании чего выбирается сила сварочного тока? На что влияет напряжение на дуге при сварке?
- 5 Почему сварка на обратной полярности более предпочтительна? Почему на аноде выделяется большее количество тепла, чем на катоде?
- 6 Поясните принцип работы и основные узлы сварочного полуавтомата.

## **2 Лабораторная работа № 2. Изучение технологии импульсно-дуговой сварки в защитных газах плавящимся электродом (Pulse MIG) с использованием программы стабилизации значений параметров режима ESAB QSet на базе полуавтомата Aristo Mig V500**

**Цель работы:** изучить особенности технологии импульсно-дуговой сварки в защитных газах плавящимся электродом; изучить принцип работы и особенности функционирования системы ESAB QSet; ознакомиться с технологией WeldCloud.

### **2.1 Общие теоретические сведения**

Современные сварочные аппараты, как правило, используют цифровое управление процессом сварки. Это стало возможным благодаря инверторным источникам питания, что открыло новые возможности для воздействия на перенос электродного металла и контроля параметров технологического процесса.

В настоящее время крупные производители сварочного оборудования уделяют много внимания разработке интеллектуальных систем управления

переносом электродного металла, что позволяет повысить производительность процесса сварки, расширить области его рационального использования и существенно улучшить экономические показатели, снизив потери на разбрызгивание.

Одной из таких программ является технология QSet, разработанная компанией ESAB.

Сущность её работы заключается в следующем.

В стабильном процессе сварки короткой дугой (область переноса электродного металла с короткими замыканиями дугового промежутка) отношение времени короткого замыкания к времени горения дуги вписывается в достаточно узкий диапазон оптимальных значений. Если система управления процессом обеспечивает это нужное соотношение, процесс сварки становится стабильным и наиболее эффективным.

Задачей функции QSet является постоянное измерение и контроль требуемого времени короткого замыкания и, соответственно, подбор соответствующего значения напряжения на дуге. Напряжение, как правило, определяет длину дуги и оказывает непосредственное воздействие на длительность короткого замыкания при сварке.

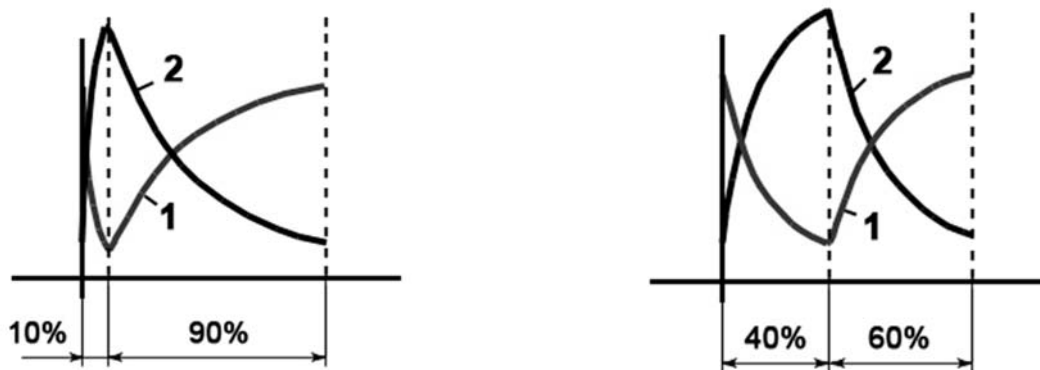
Для оптимизации процесса с использованием рассматриваемой технологии сварщику необходимо провести пробную сварку, выбрав из всех параметров только силу сварочного тока. В процессе сварки и работы системы QSet оборудование стабилизирует процесс корректировкой значения напряжения. Как правило, это происходит достаточно быстро, и для настройки оборудования достаточно выполнить несколько сантиметров длины пробного шва. В случае, если во время стабильного процесса сварки увеличилась скорость подачи проволоки или произошли какие-либо другие воздействия, приводящие к повышению времени фазы короткого замыкания и, таким образом, нарушению отношения времени короткого замыкания к времени горения дуги, система управления среагирует на это увеличением средней величины напряжения и этим опять приведет данное соотношение в область оптимальных значений.

Таким образом, система работает не только как настройка параметров на оптимальное соотношение, что может быть произведено и вручную опытным сварщиком, но и как система поддержания стабильности в процессе сварки.

Функция QSet может также использоваться для регулировки мощности дуги и особенностей её горения. Для этого можно изменять соотношение длительностей короткого замыкания и горения дуги (рисунок 2.1). Это позволяет в некотором диапазоне изменять тепловложение в основной материал за счет изменения времени горения дуги.

Импульсная сварка в защитных газах (Pulsed MIG/MAG или pulsed arc MIG) реализуется при помощи импульсного источника сварочного тока для управления переносом расплавленного присадочного материала в дуге (капельным переносом) таким образом, чтобы стабилизировать процесс горения дуги и минимизировать разбрызгивание. Этот способ был разработан в 1960-х гг. Д. С. Нидхемом в TWI (Институт Сварки Великобритании). Однако в то время трудно было создать требуемый источник энергии. В результате первые

источники энергии использовали часть синусоиды для создания импульсов, т. е. частота импульса могла быть изменена только по определенным фиксированным шагам.



1 – кривая изменения силы сварочного тока; 2 – кривая изменения напряжения

Рисунок 2.1 – Регулировка соотношения длительности короткого замыкания и горения дуги

И только тогда, когда был создан инверторный источник энергии в конце 1970-х гг., импульсная дуговая сварка стала реальностью. Однако даже в этом случае без использования процесса дискретного управления данный способ сварки не мог бы широко применяться. Используемая технология получила название «синергетическая импульсная дуговая сварка» с термином «синергетика», указывающим на метод облегчения установки режимов работы оборудования, давая возможность источнику энергии автоматически выбрать соответствующие параметры импульса. Когда сварщик увеличивает или снижает скорость подачи проволоки, другие параметры настройки также изменяются, чтобы поддержать стабильное горение дуги. Этот способ сварки также называется ещё и «однокнопочным».

Импульсная дуговая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов (MIG/MAG) используется, главным образом, для сварки алюминия и нержавеющей стали, хотя также может использоваться для сварки обычной углеродистой стали. Контроль за переносом капель металла осуществляется при наложении на базовый ток импульсов частотой 30...300 Гц, что делает возможным расширить диапазон струйного переноса металла при более низких значениях сварочного тока. Процесс обеспечивает устойчивое горение дуги и отсутствие разбрызгивания в отличие от сварки короткой дугой. Использование импульсов преследует две цели: обеспечение плавления присадочной проволоки и, затем, создание и отрыв только одной расплавленной капли для каждого импульса. Это означает, что при возрастании скорости подачи проволоки частота импульса должна также увеличиться. Этим обеспечивается поддержание постоянным объема капли в течение всего процесса. Низкий ток паузы поддерживает горение дуги между импульсами. Хотя амплитуда тока каждого

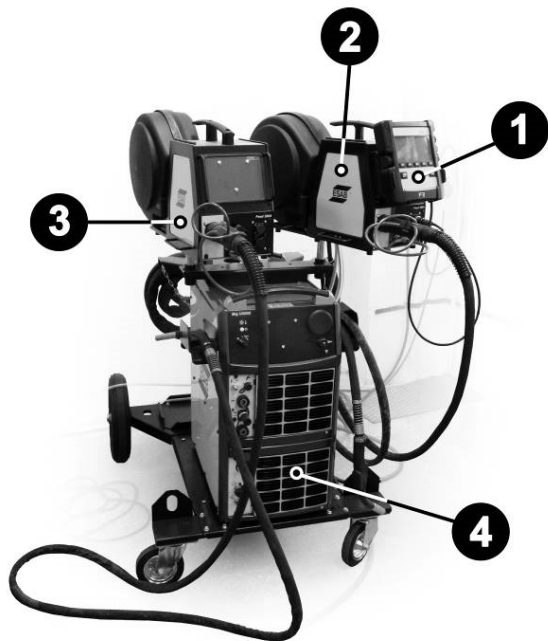
импульса высока, среднее значение тока и, таким образом, подвод тепла к соединению может сохраниться низким.

В лабораторной работе используется сварочное оборудование ESAB Mig U5000i WeldCloud (рисунок 2.2).

Преимущества импульсной сварки MIG/MAG:

– процесс переноса металла полностью управляем, отсутствует разбрызгивание;

– имеется возможность расширения диапазона параметров сварки MIG/MAG со струйным переносом до более низких параметров, чем при традиционной сварке, особенно таких материалов, как нержавеющая сталь или алюминий;



1 – панель управления ESAB Aristo U82;  
2 – первый подающий механизм Feed 4804 PSF 510W; 3 – второй подающий механизм Feed 3004 PSF 410 W; 4 – источник питания Mig U5000i

Рисунок 2.2 – Внешний вид сварочного оборудования ESAB Mig U5000i WeldCloud

же, чем при сварке короткой дугой. Большой подвод тепла, по сравнению со сваркой короткой дугой, снижает максимальную скорость подачи проволоки;

– импульсная дуговая сварка ограничивает выбор защитных газов. Как и при традиционной сварке MIG/MAG со струйным переносом металла, концентрация  $\text{CO}_2$  в смеси  $\text{Ar}/\text{CO}_2$  не должна быть слишком высока (не более 20 %), что не позволяет использовать такие же соотношения  $\text{Ar}/\text{CO}_2$ , как при сварке короткой дугой.

Основные технические характеристики источника питания представлены в таблице 2.1.

– способ позволяет сваривать тонкие материалы или выполнять сварку в различных пространственных положениях с лучшими результатами, чем при сварке короткой дугой;

– импульсная сварка MIG/MAG иногда используется там, где применяется традиционная сварка MIG/MAG со струйным переносом, для обеспечения лучшего проплавления металла;

– при импульсной сварке MIG/MAG стабильного горения дуги можно достигнуть даже при использовании более толстой присадочной проволоки. Это необходимо при сварке алюминия, когда бывает трудно подавать проволоку из-за ее мягкости.

Недостатки импульсной сварки MIG/MAG:

– производительность импульсной сварки MIG/MAG ниже,

Таблица 2.1 – Технические характеристики источника питания ESAB Mig U5000i WeldCloud

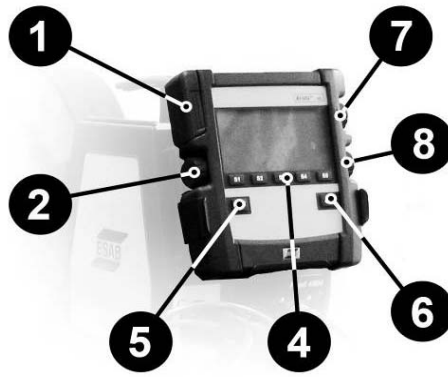
Напряжение питания	400 В ± 10 %, 3 ~ 50/60 Гц
Первичный ток $I_{\max}$ (MIG/MAG)	33 А
Питание без нагрузки в режиме энергосбережения, который включается через 6,5 мин после сварки	
MIG (GTAW/GMAW)	45 Вт
Диапазон напряжения/тока MIG/MAG (GMAW)	8...60 В/16...500 А
Допустимая нагрузка при сварке MIG/MAG (GMAW)	
Коэффициент нагрузки 60 %	500 А/39 В
Коэффициент нагрузки 100 %	400 А/34 В
Коэффициент мощности при максимальном токе $I_2$ MIG	0,90
Коэффициент нагрузки 60 %	500 А/ 39 В
Коэффициент нагрузки 100 %	400 А/ 34 В
Коэффициент мощности при максимальном токе $I_2$ MIG	0,90
КПД при максимальном токе $I_2$ MIG	83 %
Напряжение холостого хода $U_{0\max}$	
MIG/MAG (GMAW) без функции VRD	72...88 В
Функция VRD активирована	< 35 В
Рабочая температура	от -10 °С до +40 °С
Размеры (Д × Ш × В) с блоком охлаждения	625 × 394 × 776 мм
Класс изоляции трансформатора	Н
Класс защиты корпуса	IP23
Вес без блока охлаждения/с блоком охлаждения	82 кг/02 кг

Для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа MIG/MAG источник питания комплектуется блоками подачи проволоки Feed 3004 или Feed 4804, которые содержат четырехроликовые механизмы подачи проволоки, а также электронную схему управления. Источник питания Mig U5000i WeldCloud работает совместно с панелью управления Aristo U82 и поставляется с блоком управления, который позволяет осуществлять беспроводной мониторинг.

Если устройство дистанционного управления подключено, источник питания и блок подачи проволоки находятся в режиме дистанционного управления; все кнопки и регуляторы заблокированы. Регулировку всех функций можно выполнить только при помощи пульта дистанционного управления.

Внешний вид панели управления Aristo U82 представлен на рисунке 2.3.

Модуль WeldCloud обеспечивает связь между источником сварочного тока и локальным сервером WeldClou посредством Wi-Fi, беспроводной сети или 3G.



1 – разъем для USB-накопителя; 2 – рукоятка перемещения курсора; 3 – дисплей; 4 – программные кнопки; 5 – кнопка меню; 6 – кнопка ввода; 7 – рукоятка увеличения и уменьшения заданных значений и настройки напряжения; 8 – рукоятка увеличения и уменьшения заданных значений

Рисунок 2.3 – Панель управления Aristo U82

Модуль WeldCloud оснащен функцией GPS для определения местоположения источника сварочного тока. Он также оснащен подключением Bluetooth, обеспечивающим связь со сторонними устройствами ввода.

Сеть Wi-Fi модуля WeldCloud доступна после включения источника питания. При этом выполняется запуск хот-спот, который отображается как доступная сеть Wi-Fi. После установки соединения можно получить доступ к WEB-интерфейсу источника питания для выполнения разовой настройки. После настройки и перезапуска источник питания будет отображаться в WeldCloud.

## ***2.2 Оборудование, приборы и материалы***

1 Пост для механизированной сварки в защитных газах со сварочным полуавтоматом.

2 Баллоны с углекислым газом.

3 Электродная проволока Св-08Г2С, Св-08ГС.

4 Защитные щитки.

5 Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали размером  $30 \times 10 \times 100$  мм.

6 Набор слесарного инструмента.

## ***2.3 Порядок проведения работы***

1 Подготовить два комплекта выданных образцов в виде пластин листового материала (толщина 10...16 мм) к сварке. Зачистить кромки свариваемых деталей при помощи абразивных материалов с использованием шлифовальной машинки на ширину 20 мм в обе стороны. Проверить качество подготовки поверхностей, в случае необходимости исправить имеющиеся дефекты.

2 Осуществить прихватку деталей (для лучшего формирования сварного



соединения необходимо использовать выводные планки, на которых происходит зажигание дуги и окончание процесса сварки). Тип сварного соединения – С17. Зазор отрегулировать равномерным по величине согласно ГОСТ 14771–76.

3 Изучить порядок настройки значений параметров режима сварки. Выполнить сварку соединений с использованием системы ESAB QSet. В процессе сварки обратить внимание на стабильность горения дуги. Во время сварки рекомендуется изменять условия горения дуги, например увеличением вылета электродной проволоки, угла наклона горелки и т. д., и обратить внимание на корректирующие действия источника питания.

4 Подготовить детали таврового сварного соединения к сварке. Произвести зачистку кромок и прихватить детали. Тип сварного соединения – ТЗ по ГОСТ 14771–76. Выполнить сварку с одной стороны с использованием импульсно-дугового процесса, с другой стороны использовать традиционную технологию сварки. Сравнить полученные результаты. Сделать выводы. Информацию занести в отчет.

## ***2.4 Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Оборудование и материалы.
- 3 Таблица со значениями параметров режима сварки.
- 4 Выводы по работе.
- 5 Контрольные вопросы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какова основная идея технологии ESAB QSet?
- 2 Каков принцип работы и основные элементы панели ESAB U82?
- 3 Как производится настройка оборудования и выбор значений параметров режима сварки?
- 4 Каковы основные достоинства и область применения импульсно-дуговой сварки?

## **3 Лабораторная работа № 3. Доля основного металла в металле шва и погонная энергия**

***Цель работы:*** определить характер влияния значений параметров режима сварки и погонной энергии на долю основного металла шва и на его размеры.

### ***3.1 Общие теоретические сведения***

При сварке одновременно с электродным (присадочным) металлом плавится и металл свариваемого изделия или основной металл. В зависимости от типа

соединения, подготовки кромок соединяемых элементов и требований к шву перед сварщиком стоят различные задачи, касающиеся размеров и формы зоны проплавления основного металла. В одних случаях необходимо проплавить основной металл на максимальную глубину, например, при сварке толстого металла без разделки кромок, в других – расплавить минимальное количество основного металла, необходимое для обеспечения образования сварного соединения, например, при наплавке специальных слоёв легированного металла на нелегированную матрицу.

Технологические требования вызывают необходимость освоения возможностей и способов управления процессом проплавления основного металла и перемешивания его с основным металлом соединяемых изделий. Это необходимо и для выполнения металлургических требований, т. к. от глубины проплавления и долей основного и присадочного металлов в шве зависит его химический состав, а также для нормального протекания химических реакций и получения заданного состава шва.

Эффективная тепловая мощность сварочного источника тепла, т. е. количество теплоты, вводимое источником при сварке в деталь в единицу времени, определяется по формуле

$$q = U_d \cdot I_{св} \cdot \eta, \quad (3.1)$$

где  $U_d$  – напряжение на дуге, В;

$I_{св}$  – сила сварочного тока, А;

$\eta$  – эффективный КПД нагрева.

Значения эффективного КПД нагрева для различных способов сварки приведены в таблице 3.1.

Погонная энергия сварки, т. е. количество теплоты, вводимое на единицу длины шва, в этом случае находится из выражения

$$q_n = \frac{q}{v_{св}}. \quad (3.2)$$

Таблица 3.1 – Значения  $\eta$  для различных способов сварки

Способ сварки	Сварочный материал	$\eta$
РДС	Постоянный ток	0,75...0,85
	Переменный ток	0,65...0,75
Дуговая сварка в среде аргона	Плавающимся электродом	0,7...0,8
	Неплавающимся электродом	0,65...0,75
Дуговая сварка под слоем флюса		0,8...0,9
Газовая сварка		0,3...0,6
Электронно-лучевая		0,8...0,95

Если режим сварки неизвестен, но задано поперечное сечение наплавляемого за проход металла шва, погонную энергию можно получить из формулы

$$q_n = Q_v \cdot F_{ш}, \quad (3.3)$$

где  $F_{ш}$  – площадь поперечного сечения металла шва, мм<sup>2</sup>;

$Q_v$  – коэффициент, определяемый по таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения  $Q_v$  для различных способов сварки

Способ сварки	Сварочный материал	$Q_v$ , Дж/мм <sup>3</sup>
РДС	УОНИ-13/45, СМ-11	65
	ЭА 395/9, ЭА 606/10, ЭА 400/10	42
	ЭА 606/11, 48Н-1	46
	ЭА 981/15	48
Механизированная в CO <sub>2</sub>	Св-08ГС	38
Автоматическая и полуавтоматическая под слоем флюса	Проволока Св-08А, флюс ОСЦ-45	65
	Проволока Св-10ГСМТ, флюс АН-42	71

Сварочная ванна образуется смешиванием расплавленных основного и присадочного материалов. Конвективные потоки в ванне способствуют хорошему их перемешиванию и получению однородного металла шва, даже если составы основного и электродного металлов различны. Относительные же количества их в ванне определяют соотношением скоростей процессов плавления основного металла и наплавки электродного или соотношением площадей наплавки и проплавления (рисунок 3.1).

Долю основного металла в ванне или в шве с учётом того, что массовая скорость плавления металла

$$g_o = \gamma \cdot v_{св} \cdot F_{np}, \quad (3.4)$$

можно определить по формуле

$$\theta = \frac{g_o}{g_o + g_n} = \frac{\gamma_o \cdot F_{np}}{\gamma_o \cdot F_{np} + \gamma_n \cdot F_n}, \quad (3.5)$$

где  $\gamma_o, \gamma_n$  – плотность основного и наплавленного металлов, см<sup>2</sup>;

$F_{np}, F_n$  – площадь основного и наплавленного металлов, см<sup>2</sup>.

Если  $\gamma_o \approx \gamma_n$ , то

$$\theta = \frac{F_{np}}{F_{np} + F_n} = \frac{F_{np}}{F_{ш}}. \quad (3.6)$$

Минимальная тепловая мощность, необходимая для расплавления металла со скоростью  $g_o$ ,

$$g_{nl} = g_o \cdot \Delta H_{nl}, \quad (3.7)$$

где  $\Delta H_{nl}$  – энтальпия металла при температуре плавления (с учётом теплоты плавления).

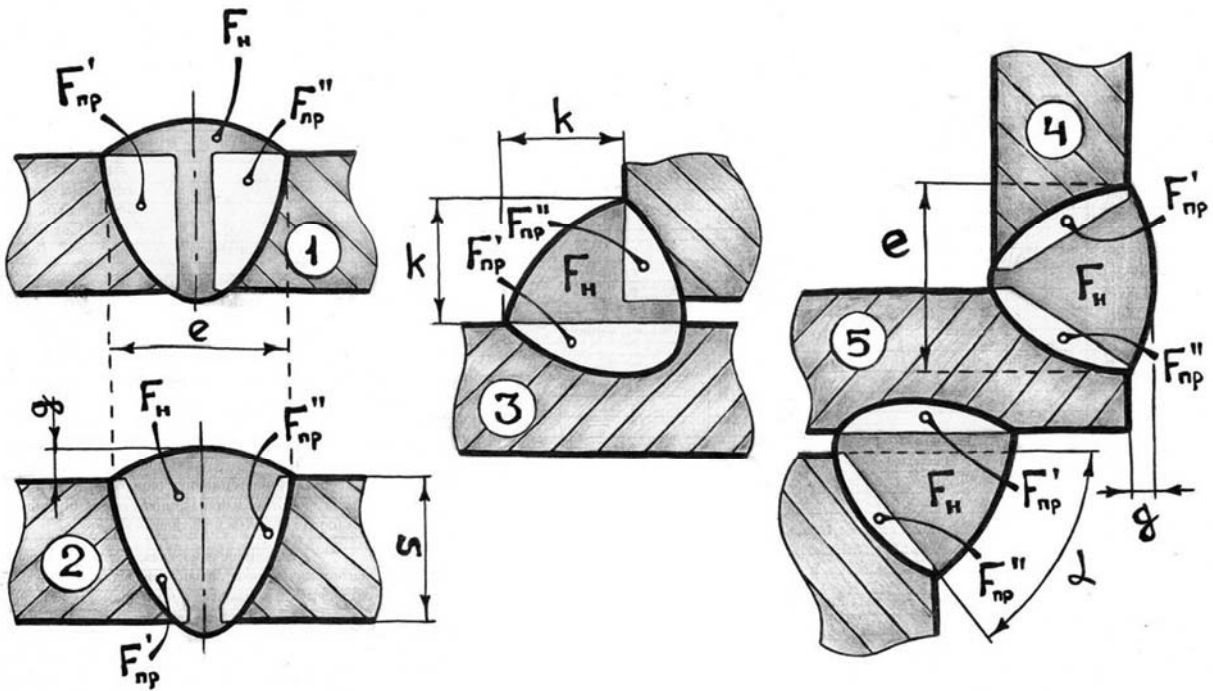


Рисунок 3.1 – Доли расплавленного основного и электродного металлов

Отношения

$$\eta_t = \frac{g_o \cdot \Delta H_{nl}}{q};$$

$$\eta_{np} = \frac{g_o \cdot \Delta H_{nl}}{q_o}$$

Н. Н. Рыкалин назвал термическим КПД и полным тепловым КПД процесса расплавления основного металла.

Из определения  $\eta_t$  и формулы (3.4) следует, что площадь поперечного сечения зоны расплавления

$$F_{np} = \frac{1}{\gamma \Delta H} \cdot \eta_t \cdot \frac{q}{v_{св}}. \quad (3.8)$$

При расчёте  $\eta_t$  следует брать не всю мощность  $q$ , а только её часть, полученную твёрдым металлом  $q_{эф}$ .

Представим  $\theta$  в функции параметров режима сварки:

$$g_o = \frac{l}{\gamma \Delta H} \cdot \frac{\eta_t \cdot q_{эф}}{v_{св}} = A \cdot \frac{\eta_t \cdot q_{эф}}{v_{св}}.$$

Исходя из определения коэффициента наплавки,

$$g_n = \alpha_n \cdot I_{св}.$$

Таким образом,

$$\theta = \frac{1}{1 + \frac{\gamma_n \cdot \alpha_n \cdot I_{св} \cdot v_{св}}{\gamma_o \cdot A \cdot \eta_t \cdot q_{эф}}}. \quad (3.9)$$

Доля электродного металла в шве, очевидно, равна  $(1 - \theta)$ . Из выражения (3.9) следует, что для уменьшения  $\theta$  нужно увеличить  $\alpha_n$  и  $v_{св}$  и уменьшить  $q_{эф}$ .

Следовательно, доля основного металла в шве зависит от режима сварки ( $U_d, I_{св}$ ), от условий теплопередачи ( $\eta_u, \eta_t, \eta_{эф}$ ), от теплофизических свойств металла ( $A, \eta_t$ ) и от характеристик электрода ( $\alpha_n$  и др.). Кроме того, большое значение имеет конструкция соединения, определяющая режим сварки.

Значения  $\theta$ , встречающиеся в практике по данным В. Н. Земзина и других авторов, приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Доля основного металла в шве при сварке и наплавке различными способами

Вид соединения	Сталь	Сварка и наплавка			
		покрытыми электродами	под слоем флюса	электрошлаковая	наплавка ленточным электродом
Наплавка валиков	Перлитная	0,15...0,40	0,25...0,50	–	0,08...0,20
	Аустенитная	0,25...0,50	0,35...0,50	–	0,15...0,25
Стык без разделки кромок	Перлитная	0,3...0,5	0,35...0,55	0,2...0,4	–
	Аустенитная	–	–	0,3...0,5	–
Стык с разделкой кромок (однослойный шов)	Перлитная	0,2...0,4	0,25...0,50	–	–
	Аустенитная	0,3...0,5	0,4...0,6	–	–
Корневые швы стыковых многослойных соединений	Перлитная	0,25...0,50	0,35...0,60	–	–
	Аустенитная	0,35...0,50	0,4...0,7	–	–

Регулирование величины  $\theta$  является важной задачей. Оптимальная величина  $\theta$  зависит от конструкции соединения и предъявляемых к нему требований. Так, при сварке встык без скоса кромок или при сварке угловых швов с глубоким

проплавлением для образования соединения необходимо расплавить сравнительно большее количество основного металла.

При сварке встык без присадочного металла неплавящимся электродом (например, вольфрамовым) шов образуется целиком из основного металла ( $\theta = 1$ ). В то время как при сварке с разделкой кромок, например, при наплавочных работах и т. п., достаточно небольшого оплавления кромок (для исключения возможности непровара).

Величину  $\theta$  можно регулировать изменением соотношения скоростей плавления электродного и основного металлов. Для уменьшения  $\theta$  можно применить колебательные движения электрода, позволяющие рассредоточить нагрев и уменьшить проплавление свариваемого металла.

Аналогично действует непрерывное перемещение дуги по торцу электрода при сварке ленточным электродом. В этом случае происходит рассредоточение не только теплового потока, но и механическое воздействие дуги на ванну, что ослабляет оттеснение металла из-под дуги и дополнительно уменьшает проплавление. В результате доля основного металла в шве с увеличением плотности тока от  $15 \cdot 10^6$  до  $45 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> у круглого электрода увеличивается от 40 % до 60 %.

### ***3.2 Оборудование, приборы и материалы***

- 1 Сварочный пост для ручной дуговой сварки.
- 2 Сварочные электроды.
- 3 Секундомер.
- 4 Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.
- 5 Набор слесарного инструмента.
- 6 Набор измерительного инструмента.

### ***3.3 Порядок проведения работы***

**Опыт 1.** Исследование влияния силы сварочного тока на геометрические характеристики сварного шва.

- 1 Зачистить образцы и подготовить оборудование для сварки.
- 2 Подготовить таблицу для записей результатов экспериментов (таблицы 3.4 и 3.5).
- 3 На пробном образце подобрать силу сварочного тока и напряжение на дуге.
- 4 Наплавить перпендикулярно стыку валики на различном значении силы сварочного тока (напряжение и скорость сварки при этом сохраняются постоянными). Силу тока изменять не более чем на 25 А. Наплавку каждого последующего валика производить только на охлаждённую пластину, для чего охладить её в воде. В процессе проведения экспериментов промаркировать валики.
- 5 Измерить геометрические характеристики наплавленных валиков ( $e, g, h$ ) согласно рисунку 3.1 и занести их в таблицу.

Таблица 3.4 – Экспериментальные данные

Номер опыта	Сила сварочного тока $I_{св}$ , А	Напряжение на дуге $U_{д}$ , В	Время горения дуги $t$ , с	Скорость сварки $V_{св}$ , м/с	Глубина проплавления $h$ , мм	Ширина валика шва $e$ , мм	Высота выпуклости шва $g$ , мм
1							
2							
3							

Таблица 3.5 – Экспериментальные данные

Номер опыта	Площадь наплавленного металла $F_n$ , мм <sup>2</sup>	Площадь основного металла $F_{np}$ , мм <sup>2</sup>	Площадь поперечного сечения шва $F_{ш}$ , мм <sup>2</sup>	Доля основного металла в шве $\theta$	Погонная энергия сварки по данным эксперимента $q$ , Дж/мм	Погонная энергия сварки по формуле (3.3) эксперимента $q$ , Дж/мм
1						
2						
3						

6 Рассчитать  $F_{np}$ ,  $F_n$ ,  $\theta$ ,  $q_n$  по соответствующим формулам. Данные занести в таблицу.

7 Рассчитать  $q_n$  по формуле (3.1) и сравнить с полученным значением.

8 Построить графические зависимости  $e = f(I_{св})$ ,  $g = f(I_{св})$ ,  $h = f(I_{св})$ ,  $\theta = f(I_{св})$ .

9 Сделать выводы о влиянии силы сварочного тока на геометрические характеристики шва.

**Опыт 2.** Исследование влияния напряжения на дуге на геометрические характеристики сварного шва.

1 Зачистить образцы для сварки.

2 Наплавить перпендикулярно стыку валики на различном значении напряжения на дуге (сила тока и скорость сварки сохраняются постоянными). Напряжение изменять не более чем на 5 В. Наплавку каждого последующего валика производить только на охлаждённую пластину, для чего охладить её в воде. В процессе проведения экспериментов промаркировать валики.

3 Измерить геометрические характеристики наплавленных валиков ( $e$ ,  $g$ ,  $h$ ) согласно рисунку 3.1 и занести их в таблицу.

4 Рассчитать  $F_{np}$ ,  $F_n$ ,  $\theta$ ,  $q_n$  по соответствующим формулам. Данные занести в таблицу.

5 Рассчитать  $q_n$  по формуле (3.1) и сравнить с полученным значением.

6 Построить графические зависимости  $e = f(U_{д})$ ,  $g = f(U_{д})$ ,  $h = f(U_{д})$ ,  $\theta = f(U_{д})$ .

7 Сделать выводы о влиянии напряжения дуги на геометрические характеристики шва.

**Опыт 3.** Повторить опыты, изменяя значения скорости сварки, и построить графические зависимости  $e = f(V_{св})$ ,  $g = f(V_{св})$ ,  $h = f(V_{св})$ ,  $\theta = f(V_{св})$ .

1 Построить зависимости  $\theta = f(q_n)$  по результатам трёх опытов (три кривых на одном графике).

2 Сделать выводы о влиянии параметров режима сварки и погонной энергии на геометрические характеристики сварного шва и долю основного и наплавленного металлов.

### ***3.4 Содержание отчета***

1 Цель работы.

2 Краткие теоретические сведения.

3 Таблица с результатами экспериментов.

4 Необходимые расчёты.

5 Краткая характеристика результатов экспериментов.

6 Выводы по работе.

### ***Контрольные вопросы***

1 Что такое погонная энергия сварки? Что она характеризует? Что такое эффективный КПД процесса?

2 Каким образом можно рассчитать погонную энергию сварки в случае, когда известна площадь наплавленного металла?

3 Как влияет погонная энергия на геометрические характеристики шва?

4 Как рассчитывается доля основного металла в сварочной ванне? Для чего необходим этот параметр?

## **4 Лабораторная работа № 4. Исследование факторов, влияющих на производительность процесса ручной дуговой сварки**

***Цель работы:*** выявить факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на производительность процесса ручной дуговой сварки; определить коэффициент расплавления  $\alpha_p$ , наплавки  $\alpha_n$  и потерь на угар и разбрызгивание при наплавке валика на пластину электродами с различным типом покрытия на разной полярности.

### ***4.1 Общие теоретические сведения***

Предложено много методов повышения производительности ручной сварки покрытыми электродами, однако большинство из них из-за малой эффективности и ухудшения условий труда сварщика не нашли практического применения. Наиболее эффективным методом повышения производительности



при сварке покрытыми электродами является введение в состав покрытия железного порошка, что приводит к повышению коэффициента наплавки до 16...18 г/(А·ч) и позволяет в 1,8–2 раза повысить производительность по сравнению со сваркой обычными электродами.

В этом случае в образовании шва принимает участие не только металл электродного стержня, но и металл, вводимый в состав покрытия в виде железного порошка. Для электродов данного типа, получивших название высокопроизводительных, коэффициент потерь имеет положительную величину, т. к. при определении значения коэффициента расплавления учитывается только металл, полученный от расплавления стержня, а при определении коэффициента наплавки учитывается и металл, перешедший из покрытия.

Сварка высокопроизводительными электродами может выполняться переменным и постоянным током (прямой полярности), в основном, в нижнем положении. Источники питания должны иметь повышенное напряжение холостого хода.

Из нашедших практическое применение методов повышения производительности ручной сварки следует указать также на сварку сдвоенным электродом, пучком электродов, трёхфазной дугой и сварку с глубоким проваром.

При сварке сдвоенными электродами процесс ведётся двумя стержнями, соединёнными между собой контактной точечной сваркой. Дуга перебрасывается (блуждает) с электрода на электрод попеременно, оплавливая их. Производительность процесса в случае применения сдвоенных электродов повышается на 20 %...40 % по сравнению со сваркой одним электродом. Повышение производительности достигается путём некоторого увеличения коэффициента наплавки за счёт подогрева электрода проходящим током при горении дуги на втором электроде, увеличения времени горения дуги и за счёт снижения затрат времени на смену электродов.

При сварке пучком, т. е. одновременно несколькими покрытыми электродами, соединёнными между собой прихватками в месте крепления их в электрододержателе в общий пучок, ток через электрододержатель подводится одновременно ко всем электродам, входящим в пучок. Так же, как при сварке сдвоенным электродом, дуга возбуждается на электроде, находящемся на более близком расстоянии от свариваемого изделия. При обгорании этого электрода дуга перебрасывается на другой электрод, расположенный в данный момент времени ближе к свариваемому изделию, чем предыдущий, и так далее. Электроды, расположенные вокруг плавящегося электрода, подгреваются теплотой, излучаемой сварочной дугой. Производительность сварки пучком электродов повышается на 40 %...50 % за счёт некоторого повышения коэффициента наплавки и увеличения коэффициента использования сварочного поста.

При сварке трёхфазной дугой обычно применяются два электрода, к которым подводятся две фазы от источника питания. Третья фаза подводится к детали. Электроды могут закрепляться отдельно в двух обособленных держателях или располагаться в одном держателе. Применение трёхфазной дуги позволяет повысить производительность на 50 %...60 %.

При всех упомянутых методах повышения производительности значительно

затрудняется манипуляция сварочным электродом за счёт утяжеления электро-держателя, увеличения сечения электродов и несколько ухудшает формирование шва, что и определяет ограниченное применение этих методов.

При сварке с глубоким проваром (сварка с опиранием; сварка ультракороткой дугой) повышение производительности достигается не только за счёт увеличения тока (ток повышается на 20 %...40 %) и коэффициента наплавки, сколько за счёт обеспечения большей глубины провара основного металла, что даёт возможность уменьшить глубину разделки кромок и производить сварку более толстого металла с большей скоростью. При этом методе используются электроды с несколько увеличенной толщиной покрытия. Сварка выполняется с повышенной скоростью без поперечных колебаний электрода. Внешний диаметр электрода равен 1,5 диаметрам электродного стержня.

При сварке на конце электрода образуется втулка из нерасплавившегося покрытия, которой электрод опирается на изделие. Сварка ведётся с повышенной скоростью с наклоном электрода на 15°...20° углом назад. Наличие втулки на конце электрода, повышение мощности дуги и отсутствие поперечных колебаний электрода определяют концентрированный ввод теплоты в основной металл и увеличение глубины проплавления. Род тока не влияет на глубину проплавления, однако при повышенных токах предпочтительно использование переменного тока с целью устранения магнитного дутья, наблюдаемого при сварке постоянным током и отрицательно сказывающегося на формировании шва. Электроды с глубоким проваром предназначены для сварки стыковых швов в нижнем положении и угловых швов в лодочку на низкоуглеродистых и низколегированных сталях.

Коэффициенты расплавления, наплавки и потерь являются важными технологическими характеристиками процесса сварки и во многом определяют его производительность.

Коэффициент расплавления,  $\alpha_p$ /(А·ч), определяется по формуле

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I_{св} \cdot t}, \quad (4.1)$$

где  $G_p$  – масса расплавленного металла электрода за время горения дуги, г;

$I_{св}$  – сила сварочного тока, А;

$t$  – время горения сварочной дуги, с.

Коэффициент наплавки определяется по формуле

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I_{св} \cdot t}, \quad (4.2)$$

где  $G_n$  – масса расплавленного металла электрода за время горения дуги, г.

Коэффициент наплавки показывает, какое количество электродного металла переходит в металл шва за 1 ч при токе в 1 А. Значение коэффициента наплавки зависит от физико-химических свойств покрытия, рода тока и его полярности.

Коэффициент потерь определяется по формуле

$$\psi = \frac{G_n - G_p}{G_p} \cdot 100 = \frac{\alpha_n - \alpha_p}{\alpha_p} \cdot 100. \quad (4.3)$$

Имея значения  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$ ,  $\psi$ , можно определить основное время сварки по формуле

$$T = \frac{G_n}{\alpha_n \cdot I_{св}} \quad (4.4)$$

и массу электродов, необходимых для выполнения сварочной операции, по формуле

$$G_{эл} = G_n k (1 + \psi), \quad (4.5)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий массу покрытия (18 %...35 % от веса прутка) и потери на огарки (10 %...15 %),  $k = 1,3 \dots 1,5$ .

#### **4.2 Оборудование, приборы и материалы**

- 1 Пост для ручной дуговой сварки с источником питания.
- 2 Электроды с двумя типами покрытия (основным и рутиловым).
- 3 Защитные щитки.
- 4 Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.
- 5 Весы.
- 6 Набор слесарного инструмента.

#### **4.3 Порядок проведения работы**

1 Подготовить таблицу для записей результатов экспериментов (таблицы 4.1 и 4.2).

2 На пробном образце подобрать режимы, обеспечивающие стабильный процесс сварки.

3 Подобрать образец для наплавки и взвесить его.

4 Замерить длину электрода и его диаметр (диаметр стержня).

5 Наплавить валик на образец до полного расплавления электрода (оставить огарок 40...50 мм). В процессе наплавки зафиксировать силу сварочного тока и время горения дуги.

6 Измерить огарок электрода и определить вес расплавленной части электрода расчётным путём, учитывая, что плотность стали  $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ .

7 Зачистить образец от брызг и шлака и повторно взвесить. Определить вес наплавленного металла как разницу между взвешиваниями по пунктам.

8 Определить по формулам  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$ ,  $\psi$ .

9 Повторить все эксперименты, уменьшив силу сварочного тока на 50 А.

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные

Номер опыта	Сила сварочного тока $I_{св}$ , А	Полярность	Длина электрода, мм		Время горения дуги $t$ , с	Вес расплавленного электродного металла $G_p$ , г	Вес пластины, г		Вес наплавленного электродного металла $G_n$ , г
			до сварки	после сварки			до сварки	после сварки	
1	$I_1$								
2	$I_2$								
	...								
6	$I_6$								

Таблица 4.2 – Экспериментальные данные

Номер опыта	Коэффициент расплавления $\alpha_p$ , г/(А·ч)	Коэффициент наплавки $\alpha_n$ , г/(А·ч)	Коэффициент потерь $\psi$ , %
1			
...			
6			

10 Повторить все эксперименты, увеличив силу сварочного тока на 50 А по сравнению с первоначальным значением.

11 Повторить все эксперименты, изменив полярность.

12 Построить графики зависимостей  $\alpha_p = f(I_{св})$ ,  $\alpha_n = f(I_{св})$ ,  $\psi = f(I_{св})$  для прямой и обратной полярности (на одном графике необходимо построить по две кривых).

13 Повторить все эксперименты для электрода с другим типом покрытия.

14 Определить по формулам (4.4)–(4.5) норму времени и расход сварочных материалов для сварки кольцевого шва трубопровода диаметром 1500 мм (для одного режима). Массу наплавленного металла можно определить по формуле

$$G_{эл} = F_n L \gamma, \quad (4.6)$$

где  $F_n$  – площадь наплавленного металла, см<sup>2</sup>;

$L$  – длина шва, см;

$\gamma$  – плотность стали,  $\gamma = 7,8$  г/см<sup>3</sup>.

$$F_n = F_p + F_3 + F_6, \quad (4.7)$$

где  $F_p$  – площадь разделки кромок, см<sup>2</sup>;

$F_3$  – площадь зазора между свариваемыми деталями, см<sup>2</sup>;

$F_6$  – площадь поперечного сечения выпуклости валика шва, см<sup>2</sup>.

При расчётах принять следующие значения:

1)  $h = 6$  мм – толщина стенки трубы;

2)  $\alpha = 45^\circ$  – угол скоса кромок;

3)  $g = 2$  мм – высота валика наплавленного металла шва, мм;

- 4)  $e = 10$  мм – ширина валика сварного шва, мм.  
Сварка выполняется с зазором 1 мм.

#### **4.4 Содержание отчета**

- 1 Цель работы.
- 2 Формулы для определения  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$ ,  $\psi$ .
- 3 Таблица с результатами экспериментов.
- 4 Необходимые расчёты и пояснения.
- 5 Графики зависимостей  $\alpha_p = f(I_{св})$ ,  $\alpha_n = f(I_{св})$ ,  $\psi = f(I_{св})$  для прямой и обратной полярности (на одном графике необходимо построить по две кривых).
- 6 Краткая характеристика результатов экспериментов.
- 7 Выводы по работе.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие основные способы повышения производительности процесса ручной дуговой сварки и на чём они основаны?
- 2 Как влияет полярность на показатели  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$ ?
- 3 Как влияет тип покрытия на показатели  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$ ? В чём принципиальная разница типов покрытий в используемых при проведении экспериментов электродах?

## **5 Лабораторная работа № 5. Исследование факторов, влияющих на производительность сварки в защитных газах**

**Цель работы:** выявить факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на производительность процесса сварки в защитных газах; определить коэффициент расплавления  $\alpha_p$ , наплавки  $\alpha_n$  и потерь на угар и разбрызгивание при наплавке валика на пластину на различных значениях параметров режима.

### **5.1 Общие теоретические сведения**

Основными показателями производительности процесса сварки являются коэффициенты расплавления, наплавки и потерь.

Коэффициент расплавления  $\alpha_p$ , г/(А·ч), определяется по формуле

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I_{св} \cdot t}, \quad (5.1)$$

где  $G_p$  – масса расплавленного металла электрода за время горения дуги, г;  
 $I_{св}$  – сила сварочного тока, А;  
 $t$  – время горения сварочной дуги, с.

Коэффициент наплавки определяется по формуле

$$\alpha_n = \frac{G_n}{I_{св} \cdot t}, \quad (5.2)$$

где  $G_n$  – масса расплавленного металла электрода за время горения дуги, г.

Коэффициент наплавки показывает, какое количество электродного металла переходит в металл шва за 1 ч при токе в 1 А. Значение коэффициента наплавки зависит от физико-химических свойств покрытия, рода тока и его полярности.

Коэффициент потерь определяется по формуле (%)

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100 = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100. \quad (5.3)$$

Имея значения  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$ , можно определить основное время сварки по формуле

$$T_o = \frac{G_n}{\alpha_n I_{св}}. \quad (5.4)$$

Массу сварочной проволоки, необходимой для сварки данного шва, можно определить по формуле

$$G_{np} = G_n (1 + \psi). \quad (5.5)$$

Для каждого диаметра проволоки существует область токов, при которых разбрызгивание максимально. Эта область соответствует крупнокапельному переносу. При малых токах, когда перенос осуществляется короткими замыканиями дугового промежутка, разбрызгивание ниже. Снижается показатель разбрызгивания электродного металла и на больших токах, для которых характерен меньший размер капель. Повышенное разбрызгивание является недостатком сварки в углекислом газе, т. к. требует дополнительных затрат на зачистку свариваемого металла и сопла горелки полуавтомата. Причём брызги при сварке в углекислом газе сильнее привариваются к металлу, чем при сварке покрытыми электродами, поскольку почти не покрыты шлаковой плёнкой.

Улучшить процесс переноса электродного металла и уменьшить разбрызгивание позволят введение в сварочную проволоку щелочных и щелочно-земельных металлов (цезия, рубидия и др.), а также использование импульсных и программируемых источников питания, позволяющих управлять отрывом капель.

Одним из способов снижения разбрызгивания и уменьшения приваривания брызг к основному металлу является добавка к углекислому газу кислорода. Кислород уменьшает силу поверхностного натяжения жидкого металла, которая удерживает каплю на конце проволоки. Это приводит к лучшему отрыву капель и переходу к более мелкокапельному переносу. Улучшается формирование шва. Несколько увеличивается производительность сварки в результате выделения

дополнительного тепла при окислительных реакциях. Окисленные капли хуже привариваются при падении на свариваемый металл.

### 5.2 Оборудование, приборы и материалы

- 1 Пост для механизированной сварки в защитных газах.
- 2 Проволока сварочная Св-08ГС или Св-08Г2С.
- 3 Защитные щитки.
- 4 Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.
- 5 Весы.
- 6 Линейка, секундомер.
- 7 Набор слесарного инструмента.

### 5.3 Порядок проведения работы

1 Подготовить таблицу для записей результатов экспериментов (таблицы 5.1 и 5.2).

Таблица 5.1 – Экспериментальные данные

Номер опыта	Сила сварочного тока $I_{св}$ , А	Полярность	Напряжение дуги $U_d$ , В	Время горения дуги $t$ , с	Скорость подачи сварочной проволоки, м/мин	Длина электродной проволоки, мм	Вес расплавленного электродного металла $G_p$ , г
1	$I_1$		$U_{11}$				
2	$I_1$		$U_{12}$				
...							
9	$I_3$		$U_{33}$				

Таблица 5.2 – Экспериментальные данные

Номер опыта	Вес расплавленного электродного металла $G_p$ , г	Вес пластины, г		Вес наплавленного электродного металла $G_n$ , г	Коэффициент расплавления $\alpha_p$ , г/(А·ч)	Коэффициент наплавки $\alpha_n$ , г/(А·ч)	Коэффициент потерь $\psi$ , %
		до сварки	после сварки				

2 На пробном образце подобрать режимы, обеспечивающие стабильный процесс сварки.

3 Подобрать образец для наплавки и взвесить его.

4 Наплавить валик на образец, засекая при этом на секундомере продолжительность сварки. В процессе наплавки зафиксировать силу сварочного тока и время горения дуги.

5 Через скорость подачи проволоки вычислить длину её расплавленного участка и массу расплавленного электродного металла (плотность стали  $\psi = 7,8 \text{ г/см}^3$ ).

6 Взвесить образец. Определить вес наплавленного металла как разницу между взвешиваниями по пунктам 3 и 6.

7 Определить по формулам (5.1)–(5.3)  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$ .

8 Повторить эксперименты, увеличив и уменьшив значение напряжения на 5 В.

9 Повторить все эксперименты, уменьшив силу сварочного тока на 50 А (для трёх значений напряжения).

10 Повторить все эксперименты, увеличив силу сварочного тока на 50 А (для трёх значений напряжения).

11 Повторить все эксперименты, изменив полярность.

12 Построить графики зависимостей  $\alpha_p = f(I_{св})$ ,  $\alpha_n = f(I_{св})$ ,  $\psi = f(I_{св})$ ,  $\alpha_p = f(U_{\delta})$ ,  $\alpha_n = f(U_{\delta})$ ,  $\psi = f(U_{\delta})$  для прямой и обратной полярности.

#### **5.4 Содержание отчета**

1 Цель работы.

2 Формулы для определения  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$ .

3 Таблица с результатами экспериментов.

4 Необходимые расчёты и пояснения.

5 Графики зависимостей  $\alpha_p = f(I_{св})$ ,  $\alpha_n = f(I_{св})$ ,  $\psi = f(I_{св})$ ,  $\alpha_p = f(U_{\delta})$ ,  $\alpha_n = f(U_{\delta})$ ,  $\psi = f(U_{\delta})$  для прямой и обратной полярности.

6 Краткая характеристика результатов экспериментов.

7 Выводы по работе.

#### **Контрольные вопросы**

1 Какими показателями характеризуется производительность процесса сварки? Какие основные способы повышения производительности процесса сварки в углекислом газе и на чём они основаны?

2 Как влияет полярность на показатели  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$ ?

3 Как влияют сила сварочного тока и напряжение на показатели  $\alpha_p$ ,  $\alpha_n$  и  $\psi$ ? Чем это обусловлено?



## 6 Лабораторная работа № 6. Исследование влияния параметров режима автоматической сварки в среде углекислого газа на размеры и форму сварного шва

**Цель работы:** определить зависимости геометрических параметров сварного шва от параметров режима сварки.

### 6.1 Общие теоретические сведения

Форма и геометрические размеры шва в основном определяются режимом сварки. При сварке в углекислом газе с увеличением тока глубина проплавления растёт так же, как и при других способах дуговой сварки. Количество тепла, выделяемое в активных пятнах дуги с ростом тока, возрастает. Вытеснение жидкого металла из-под столба дуги идет более интенсивно вследствие увеличения давления дуги. При этом дуга углубляется в основной металл и внешняя составляющая её длины уменьшается с 2,1 мм при токе 120 А до 1,6 мм при токе 220 А, что приводит к лучшему использованию тепла дуги. Кроме того, по данным различных исследований, с увеличением тока растёт термический КПД дуги и ширина шва.

Исследования показывают, что с ростом тока производительность расплавления основного и присадочного металлов увеличивается, возрастают площади наплавки  $F_n$  и проплавления  $F_{np}$  (рисунок 6.1). Однако рост  $F_n$  происходит быстрее, чем рост  $F_{np}$ , в связи с чем доля наплавленного металла в шве с повышением тока возрастает. С увеличением тока также возрастает и коэффициент наплавки ( $\alpha_n$ ), а при постоянной скорости сварки и толщина жидкой прослойки под дугой. Это приводит к значительному рассеиванию теплового потока дуги и ухудшению условий теплопередачи к основному металлу и поэтому, несмотря на рост тепла и повышение давления дуги, глубина  $h$  и  $F_{np}$  могут уменьшаться (см. рисунки 6.1 и 6.2). С уменьшением напряжения дуги эта граница смещается в сторону меньших токов.

С повышением напряжения дуги от 20 до 26 В длина дуги возрастает с 1,1 до 2,2 мм ( $I_{св} = 120$  А,  $d_{np} = 1$  мм), её подвижность повышается и растёт площадь основания столба дуги, что приводит к увеличению  $b$  и уменьшению высоты валика  $a$ , а при определённых условиях и к росту  $h$  (см. рисунок 6.2, а).

С увеличением диаметра электродной проволоки давление дуги уменьшается, однако  $h$  может возрасти ( $d_{np} = 1,6$  мм (см. рисунок 6.1, б)). При сварке проволокой большего диаметра (при одинаковом токе)  $\alpha_n$  значительно меньше, чем при сварке проволокой меньшего диаметра. Так, например, при сварке током 300 А для проволоки  $d_{np} = 1$  мм  $\alpha_n$  составляет 24 г/(А·ч), а для  $d_{np} = 1,6$  мм  $\alpha_n$  составляет только 17 г/(А·ч). Высота выпуклости также будет меньше при сварке проволокой  $d_{np} = 1,6$  мм (см. рисунок 6.1, б).

При наплавке проволоками малого диаметра, вследствие повышенной производительности расплавления электрода, в некоторых случаях может наблюдаться характерная грибовидная форма шва, при которой ширина

усиления шва значительно больше ширины его проплавления. При этом по краям шва могут возникать несплавления. Форма шва также зависит от площади основания дуги, которая с повышением напряжения растёт и увеличивает  $b'$  и, следовательно, уменьшает грибовидность. С увеличением диаметра проволоки грибовидная форма образуется при больших токах. Таким образом, с ростом напряжения дуги  $F_{np}$  растёт вследствие увеличения  $b'$ , а при малом диаметре электрода и за счёт некоторого роста  $h$ . Величина  $a$ ,  $b$  и  $F_n$  определяются в основном производительностью расплавления электродной проволоки и скоростью сварки.

Увеличение скорости сварки приводит к некоторому росту  $h$ , уменьшению  $a$  и  $b$  шва (рисунок 6.3). При этом менее вероятно образование грибовидной формы шва. Изменение  $h$  и других параметров шва вызваны уменьшением погонной энергии дуги и толщины жидкой прослойки металла под дугой. Увеличение вылета электродной проволоки приводит к уменьшению  $h$ , увеличению  $a$  и  $b$ .

При сварке на прямой полярности условия теплопередачи в прикатодной области дуги более благоприятные, чем в прианодной. Вследствие этого производительность расплавления электродной проволоки возрастает и увеличиваются  $b$ ,  $a$  и  $F_n$  (рисунок 6.4), уменьшается  $h$ , а грибовидная форма шва образуется на более низком токе, чем при сварке на обратной полярности. Условия использования тепла дуги для расплавления основного металла при сварке на прямой полярности хуже, чем для электродного. Однако общее тепло, расходуемое на расплавление основного и электродного металла, используется лучше при сварке на прямой полярности (см. рисунок 6.4, б).

Изучение производительности процесса расплавления основного металла в различных пространственных положениях показало, что наибольшая  $F_{np}$  и  $h$  достигаются при сварке в вертикальном положении на подъём.

При сварке на подъём количество расплавленного металла в передней и задней частях сварочной ванны различно. Расплавленный металл ванны под действием силы тяжести стремится стечь в направлении образования шва. При этом толщина жидкого слоя металла под дугой уменьшается и улучшаются условия ввода тепла в основной металл, что приводит к значительному росту  $h$ . Вследствие глубокого погружения дуги в основной металл и уменьшения её подвижности  $b'$  в вертикальном положении на подъём наименьшая. Шов формируется узким, с большой высотой выпуклости. С ростом тока  $h$ ,  $b$  и  $F_{np}$  для всех пространственных положений увеличиваются. В вертикальном положении на спуск  $h$  – наименьшая, а  $b$  – наибольшая. Это можно объяснить различными условиями горения и ввода тепла дуги в основной металл.

При сварке на спуск количество расплавленного металла в передней части ванны, несмотря на неизменное давление, оказываемое дугой, наибольшее. Это приводит к увеличению толщины жидкого слоя металла под дугой, значительному рассеиванию теплового потока дуги и к уменьшению  $h$ .

Большая подвижность дуги на поверхности ванны приводит к увеличению  $b$ .

В потолочном положении расплавленный металл ванны удерживается в основном силами поверхностного натяжения. Дуга заглубляется в кратер, внешняя

составляющая длины дуги, по сравнению с нижним положением, уменьшается с 2,1 до 0,8 мм при одинаковом режиме сварки. Величины  $h$  и  $b'$  для всех пространственных положений различны и с ростом скорости сварки уменьшаются (рисунок 6.5). Наибольшая  $h$  – в вертикальном положении на подъём.

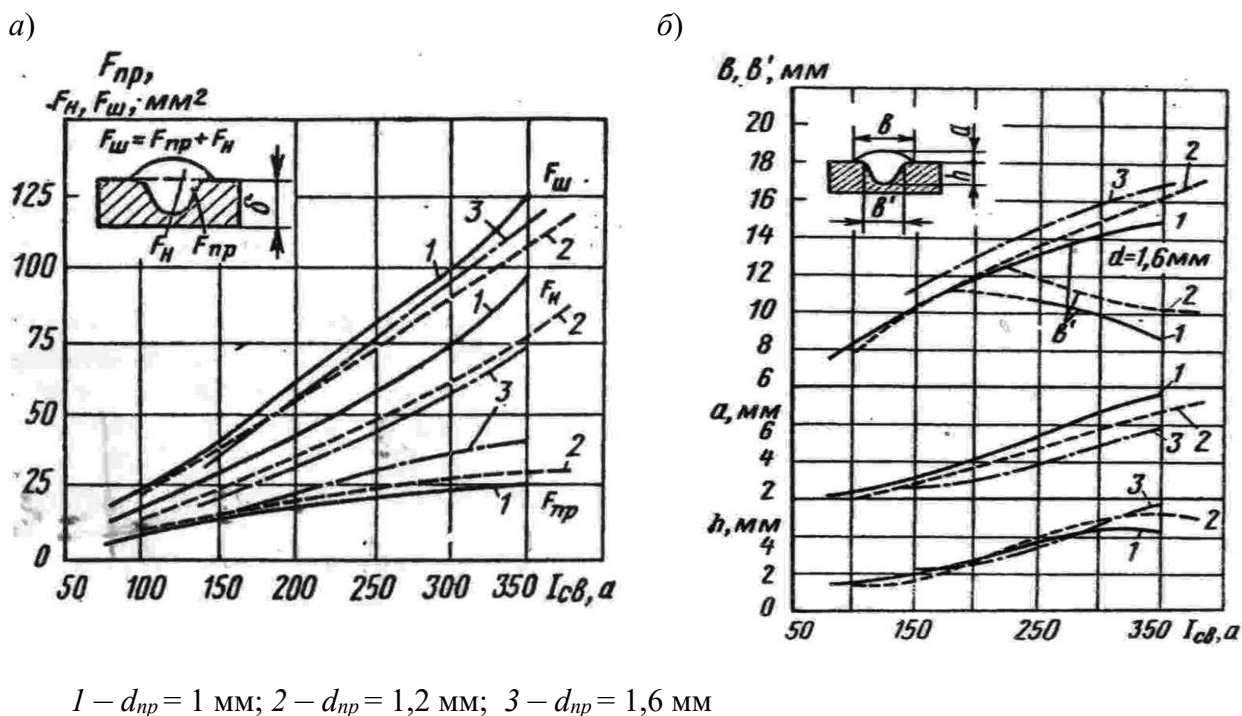


Рисунок 6.1 – Влияние сварочного тока и диаметра электродной проволоки на площади проплавления, наплавки и размеры шва ( $U_0 = 26$  В)

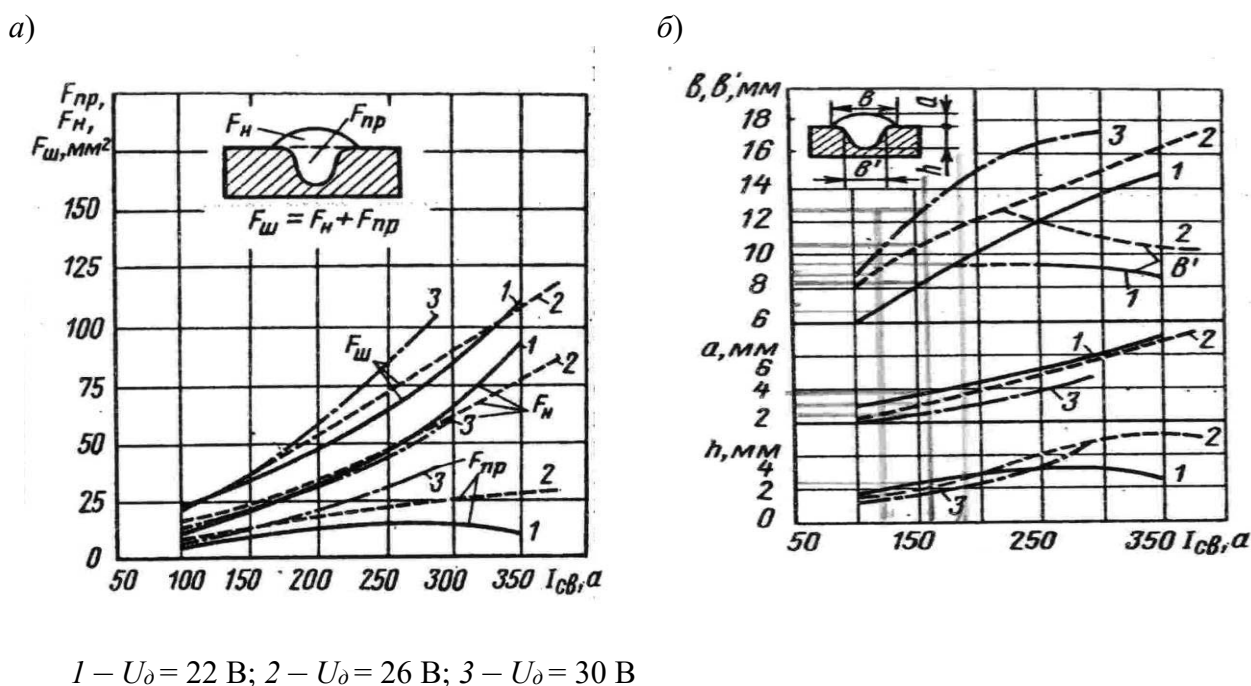
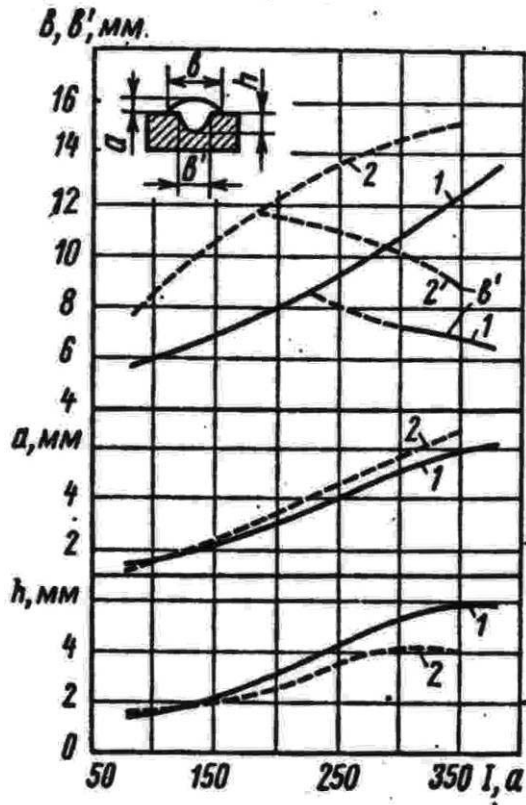


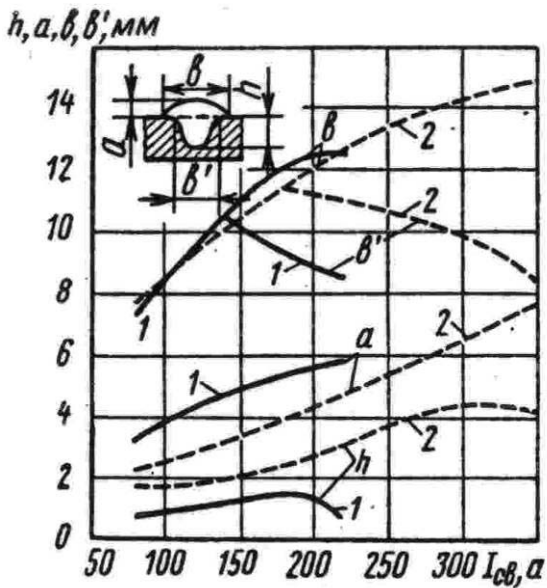
Рисунок 6.2 – Влияние сварочного тока и напряжения дуги на площади проплавления, наплавки и размеры шва ( $d_{np} = 1,2$  мм)



1 –  $V_{св} = 20$  м/ч; 2 –  $V_{св} = 15$  м/ч

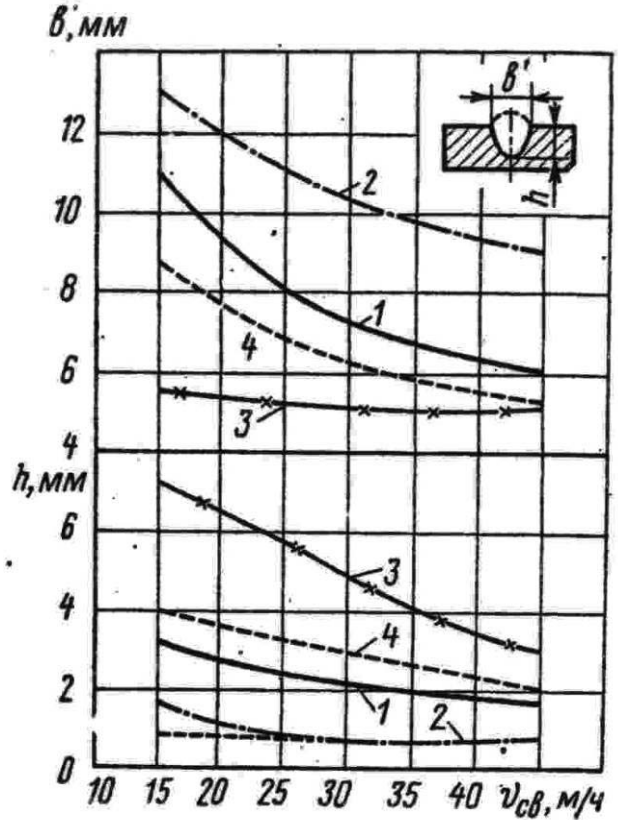
Рисунок 6.3 – Влияние скорости сварки на размеры шва ( $d_{np} = 1$  мм,  $U_{\delta} = 26$  В)

а)



1 – прямая полярность; 2 – обратная полярность

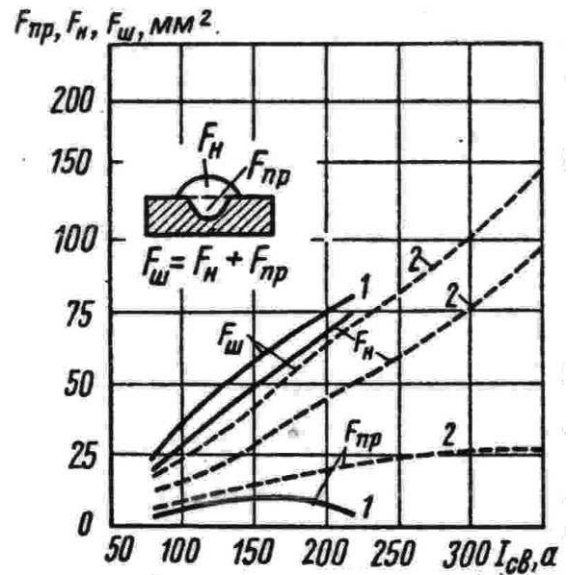
Рисунок 6.4 – Зависимость размеров шва (а) и площадей проплавления, наплавки и шва (б) от сварочного тока и полярности ( $d_{np} = 1$  мм,  $U_{\delta} = 26$  В)



1 – нижнее; 2 – вертикальное на спуск; 3 – вертикальное на подъем; 4 – потолочное

Рисунок 6.5 – Влияние скорости и пространственного положения сварки на глубину и ширину проплавления шва ( $I_{св} = 180$  А,  $U_{\delta} = 25$  В,  $d_{np} = 1$  мм)

б)

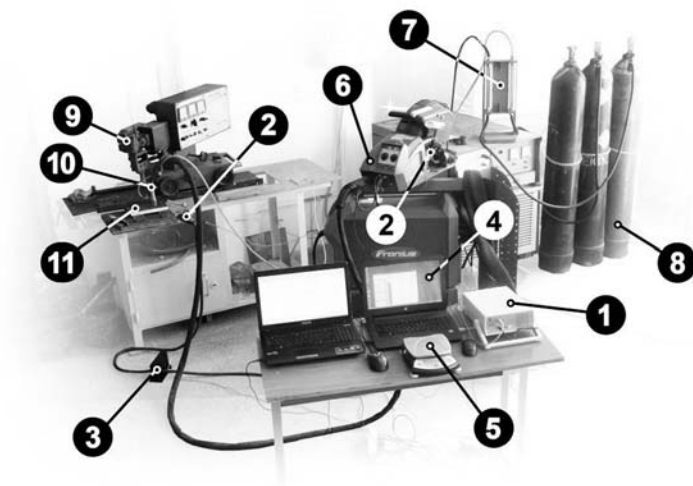


Если с ростом скорости  $h$  при сварке в вертикальном на подъём, потолочном и нижнем положениях уменьшается, то в вертикальном на спуск – остаётся практически постоянной во всём диапазоне скоростей сварки. Это объясняется тем, что энергия, вводимая в основной металл, практически остаётся неизменной вследствие уменьшения толщины жидкого слоя металла под дугой с ростом скорости сварки.

При неправильно подобранном режиме, когда капля жидкого металла превышает оптимальный объём или опережает сварочную ванну, возможны выплески расплавленного металла из сварочной ванны и углубления дуги в основной металл. В этом случае  $h$  растёт.

Автоматическая сварка предполагает автоматизацию не только подачи сварочной проволоки, как в случае с механизированной сваркой, но и перемещение горелки вдоль кромок свариваемых деталей с заданной скоростью сварки. Для автоматизации процесса не обязательно использовать специальные сварочные автоматы (сварочные тракторы и головки), а возможно использование сварочного полуавтомата с дополнительным способом механизации перемещения горелки по стыку. Примером может быть использование вращателей при сварке кольцевых швов деталей вращения. В данной работе для выполнения сварки в автоматическом режиме горелка сварочного полуавтомата закрепляется на тракторе сварочного автомата АДГ 502.

Внешний вид установки для проведения экспериментальных исследований представлен на рисунке 6.6.



1 – регистратор сварочных процессов РКДП-0401; 2 – места подключения щупов датчика напряжения; 3 – датчик тока серии LT; 4 – персональный компьютер для записи и обработки осциллограмм; 5 – контрольные измерительные весы; 6 – сварочный полуавтомат FRONIUS TransSteel 3500; 7 – ротаметры для контроля расхода газов; 8 – баллоны с защитными газами; 9 – трактор сварочного автомата; 10 – сварочная горелка; 11 – пластина для сварки и наплавки

Рисунок 6.6 – Внешний вид установки и оборудование для проведения экспериментальных исследований

Установка представляет собой сварочный полуавтомат FRONIUS TransSteel 3500 6, горелка 10 которого зафиксирована на тракторе сварочного автомата 9. Защитные газы от баллонов 8 подаются в шланг сварочного полуавтомата Ar и непосредственно в сопло с коаксиальной двухструйной подачей газов CO<sub>2</sub> через ротаметры 7 для точного задания и контроля их расхода.

Регистрация значений параметров режима сварки в виде осциллограмм силы сварочного тока  $I_{св}$  и напряжения на дуге  $U_d$  осуществляется с помощью регистратора сварочных процессов РКДП-0401 1 посредством датчиков тока 3 и напряжения. Напряжение регистрируется непосредственным подключением регистратора к элементам цепи сварочного контура. Запись и обработка осциллограмм производится при помощи персонального компьютера 4. Для оценки коэффициентов производительности процесса сварки используются контрольно-измерительные весы 5.

## **6.2 Оборудование, приборы и материалы**

- 1 Экспериментальная установка.
- 2 Сварочная проволока типа Св-08Г2С (Св08ГС).
- 3 Образцы: пластины из низкоуглеродистой стали.
- 4 Набор слесарного инструмента.
- 5 Набор измерительного инструмента.

## **6.3 Порядок проведения работы**

**Опыт 1.** Исследование влияния силы сварочного тока на геометрические характеристики сварного шва.

- 1 Зачистить образцы и подготовить оборудование для сварки.
- 2 Подготовить таблицу для записей результатов экспериментов (таблица 6.1).
- 3 На пробном образце подобрать силу сварочного тока и напряжение на дуге.
- 4 Наплавить перпендикулярно стыку валики на различном значении силы сварочного тока (напряжение и скорость сварки при этом сохраняются постоянными). Силу тока изменять не более чем на 25 А. Наплавку каждого последующего валика производить только на охлаждённую пластину, для чего охладить её в воде. В процессе проведения экспериментов промаркировать валики.
- 5 Измерить геометрические характеристики наплавленных валиков ( $e$ ,  $g$ ,  $h$ ) и занести их в таблицу.
- 6 Построить графические зависимости  $e = f(I_{св})$ ,  $g = f(I_{св})$ ,  $h = f(I_{св})$ .
- 7 Сделать выводы о влиянии силы сварочного тока на геометрические характеристики шва.

**Опыт 2.** Исследование влияния напряжения на дуге на геометрические характеристики сварного шва.

- 1 Зачистить образцы для сварки.

Таблица 6.1 – Экспериментальные данные

Номер опыта	Сила сварочного тока $I_{св}$ , А	Напряжение на дуге $U_{д}$ , В	Вылет электродной проволоки $L_{np}$ , мм	Скорость сварки $V_{св}$ , м/с	Глубина проплавления $h$ , мм	Ширина валика шва $e$ , мм	Высота выпуклости шва $g$ , мм
1							
2							
3							

2 Наплавить перпендикулярно стыку валики на различном значении напряжения на дуге (сила тока и скорость сварки сохраняются постоянными). Напряжение изменять не более чем на 5 В. Наплавку каждого последующего валика производить только на охлаждённую пластину, для чего охладить её в воде. В процессе проведения экспериментов промаркировать валики.

3 Измерить геометрические характеристики наплавленных валиков ( $e$ ,  $g$ ,  $h$ ) и занести их в таблицу.

4 Построить графические зависимости  $e = f(U_{д})$ ,  $g = f(U_{д})$ ,  $h = f(U_{д})$ .

5 Сделать выводы о влиянии напряжения дуги на геометрические характеристики шва.

**Опыт 3.** Повторить опыты, изменяя значения скорости сварки. Построить графические зависимости  $e = f(V_{св})$ ,  $g = f(V_{св})$ ,  $h = f(V_{св})$ .

**Опыт 4.** Повторить опыты, изменяя значения вылета электродной проволоки. Построить графические зависимости  $e = f(L_{np})$ ,  $g = f(L_{np})$ ,  $h = f(L_{np})$ .

#### 6.4 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения.
- 3 Таблица с результатами экспериментов.
- 4 Необходимые расчёты.
- 5 Краткая характеристика результатов экспериментов.
- 6 Выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

- 1 Каковы особенности процесса сварки в углекислом газе?
- 2 Как влияет сила сварочного тока на геометрические характеристики шва?
- 3 Как влияет напряжение дуги на геометрические характеристики шва?
- 4 Как влияет скорость сварки на геометрические характеристики шва?
- 5 Что такое грибовидность шва и в каких случаях она возникает?

## **7 Правила техники безопасности при проведении лабораторных работ**

Организация лабораторных экспериментов должна проводиться в соответствии с ССБТ ГОСТ 12.4.113–82 *Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности*.

При проведении лабораторных экспериментов должно быть устранено или доведено до безопасных значений величин действие опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003–74.

Оборудование, применяемое в учебных лабораториях, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003–74 и ГОСТ 12.2.049–80.

Температура поверхности оборудования и технологических трубопроводов, к которым возможны прикосновения людей при проведении лабораторных экспериментов, не должна превышать 45 °С. Системы вентиляции и отопления в лабораторном помещении должны обеспечивать параметры микроклимата в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005–76.

Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны лаборатории не должна превышать значений, указанных в ГОСТ 12.1.005–76.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в децибелах на рабочих местах в лаборатории должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003–76, относящимся к помещениям лабораторий для проведения экспериментальных работ.

Предельно допустимые напряжённость электрической и магнитной составляющих и плотность тока энергии электромагнитного поля радиочастот на рабочих местах в лаборатории должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.012–78.

Уровень ионизирующих излучений на рабочих местах в лаборатории по мощности поглощенной дозы не должен превышать  $5 \cdot 10^{-4}$  Гр/год. Допустимый уровень вибрации на рабочих местах в лаборатории должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.012–78. Защитные системы (зануление, защитное заземление, защитное отключение, выравнивание потенциала, двойная изоляция, малое напряжение) и мероприятия по защите от поражения электрическим током в лабораториях должны обеспечивать напряжение прикосновения не выше 42 В в помещениях без повышенной опасности и с повышенной опасностью, 12 В – в особо опасных помещениях.

Питание лабораторного электрооборудования должно осуществляться от сети напряжением не более 380 В при частоте 50 Гц. В электроустановках должны быть предусмотрены разделительный трансформатор и защитно-отключающее устройство.

Сопротивление изоляции, токоведущих частей электроустановок до первого аппарата максимальной токовой защиты должно быть не менее 0,5 МОм, а сопротивление между заземляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью изделия, которая может оказаться под напряжением, – не более 0,1 Ом.



Требования к размещению оборудования и рабочих мест.

Размещение оборудования в помещении лаборатории должно обеспечивать удобство выполнения всех видов исследований и работ.

Планировка помещения лаборатории должна обеспечивать освещение рабочих мест исследователей естественным светом.

Размещение средств отображения информации должно обеспечивать свободное восприятие общей сигнальной информации в интерьере лаборатории.

Геометрические размеры зоны досягаемости моторного поля на рабочих местах в лаборатории определяются требованиями ГОСТ 12.2.032–78 (для положения сидя) и ГОСТ 12.2.033–78 (для положения стоя).

Геометрические размеры оптимальной зоны информационного поля для размещения общих средств отображения информации в лаборатории должны быть: площадь зоны – 4,5 м<sup>2</sup>; высота верхней границы зоны от пола – 2,5 м; ширина зоны – 3,0 м; высота нижней границы зоны от пола – 1,0 м.

## 8 Действия на случай возникновения загорания, пожара

Каждый обнаруживший пожар или загорание обязан:

- немедленно обесточить помещение;
- немедленно сообщить о пожаре по телефону 101;
- немедленно сообщить о пожаре администрации;
- приступить к тушению очага пожара имеющимися на рабочем месте средствами пожаротушения (огнетушитель, кошма, песок и т. д.);
- при тушении электроустановок огнетушителями не подходить ближе 1 м до очага горения;
- при применении углекислотных огнетушителей не братья голый рукой за раструб;
- тушение вертикальных конструкций производить сверху вниз.

Студент, находящийся в лаборатории, при получении сообщения об эвакуации обязан:

- немедленно прекратить занятие;
- быстро и без паники в сопровождении преподавателя, проводящего занятие, покинуть здание в безопасное место, пройти переключку у данного преподавателя и ждать последующих указаний;
- сохранять выдержку и хладнокровие, не допускать паники.

Студент, оставшийся во время пожара в лаборатории, обязан:

- прежде чем открыть дверь лаборатории, потрогать ее руками. Если она нагрелась, не открывать ее, иначе огонь проникнет в помещение;
- при возможности покинуть помещение через окно; оказавшись на верхнем этаже, заткнуть щели подручными средствами, чтобы дым не проникнул в помещение лаборатории;
- сообщить о своем местонахождении (по телефону или привлекая внимание с помощью рук и криков о помощи).

## 9 Действия на случай других аварийных ситуаций

При возникновении в рабочей зоне проведения лабораторной работы опасных условий труда (появление запаха гари и дыма, повышенное тепло-выделение от оборудования, повышенный уровень шума при его работе, неисправность заземления, загорание материалов и оборудования, прекращение подачи электроэнергии, появление запаха газа и т. п.) необходимо немедленно прекратить работу, выключить оборудование, сообщить о происшествии преподавателю.

При несчастном случае необходимо быстро принять меры по предотвращению воздействия травмирующих факторов на потерпевшего, оказанию первой помощи пострадавшему, вызову на место происшествия медицинских работников или доставке потерпевшего в организацию здравоохранения. Сообщить о происшествии ответственному лицу за безопасное производство работ, обеспечить до начала расследования сохранность обстановки, если это не представляет опасности для жизни и здоровья людей.

При поражении электрическим током необходимо освободить пострадавшего от действия тока (выключить рубильник, перерубить провод, оттянуть или отбросить его сухой палкой, шестом). Не прикасаться к пострадавшему, пока он находится под действием тока. Доврачебную помощь оказывать сразу после прекращения воздействия электрического тока. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, то немедленно приступить к массажу сердца и искусственному дыханию до прибытия врача. Одновременно с этим применяется нашатырный спирт, растирание и согревание.

### Список литературы

1 **Патон, Б. Е.** Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Б. Е. Патон. – Москва : Машиностроение, 1974. – 664 с.

2 **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки: учебник / В. П. Куликов. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2016. – 463 с.: ил.

3 **Ерохин, А. А.** Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А. А. Ерохин. – Москва : Машиностроение, 1973. – 448 с.

4 **Волченко, В. Н.** Сварка и свариваемые материалы / В. Н. Волченко. – Москва : Металлургия, 1991. – 528 с.