

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине
«Электротехнологические установки» для студентов специальности
7-07-0712-02 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Витебск
2025

УДК 621.311 (075.8)

С 13

Рецензенты:

начальник котельной «Южная» Мовсесян В. Ю.,

директор Республиканского инновационного унитарного предприятия
«Научно-технологический парк Витебского государственного
технологического университета», ст. преподаватель кафедры
«Теплоэнергетика» УО «ВГТУ» Луцейкович В. И.

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения»
УО «ВГТУ», протокол № 5 от 29.11.2024.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 4 от 23.12.2024.

Савицкий В. В.

С 13 **Электротехнологические установки : методические указания по
выполнению практических работ / сост. В. В. Савицкий. – Витебск :
УО «ВГТУ», 2025. – 36 с.**

В методических указаниях приведены темы практических занятий, в которых изучаются электротехнологические процессы, основанные на преобразовании энергии электрического тока в рабочей зоне технологических установок и реализуются процессы электрического нагрева в электропечах сопротивления, электродуговой сварки металлов в среде защитных газов, плазменной резки, рассмотрено оборудование для осуществления процессов, приведены требования к оформлению отчётов по практическим работам.

Методические указания рассчитаны на студентов.

УДК 621.311 (075.8)

© УО «ВГТУ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Практическая работа 1. Изучение электропечи сопротивления SNOL 6,7/1300. Программирование терморегулятора.....	4
1.1 Конструктивное исполнение, технические характеристики и электрическая схема печи.....	4
1.2 Подготовка печи к работе и порядок работы.....	6
1.3 Регулятор температуры. Программирование режима работы.....	7
1.4 Порядок выполнения работы.....	16
Практическая работа 2. Изучение процесса ручной дуговой сварки в среде защитных газов и оборудования для реализации процесса. Расчёт режимов сварки.....	17
2.1 Понятие о дуговом разряде.....	17
2.2 Назначение и устройство сварочного полуавтомата Oliver MIG 200S	18
2.3 Подготовка сварочного полуавтомата к работе.....	21
2.4 Защитные газы и их характеристика.....	22
2.5 Порядок выполнения сварки.....	23
2.6 Параметры режима сварки	25
2.7 Порядок выполнения работы.....	26
Практическая работа 3. Аппарат воздушно-плазменной резки Jasic CUT 40. Разработка процесса резки исходных заготовок.....	27
3.1 Общие понятия о плазменной резке	27
3.2 Конструкция аппарата воздушно-дуговой резки.....	28
3.3 Плазмообразующие газы и их влияние на возможности резки.....	31
3.4 Подготовка аппарата плазменной резки к работе, выбор газов для резки.....	33
3.5 Порядок выполнения работы.....	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	34
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Образец титульного листа отчёта по практическим работам.....	35

Практическая работа 1. Изучение электропечи сопротивления SNOL 6,7/1300. Программирование терморегулятора

1.1 Конструктивное исполнение, технические характеристики и электрическая схема печи

Электропечь лабораторная SNOL 6,7/1300 предназначена для выполнения тепловой обработки материалов и изделий при температуре от 50 °С до 1300 °С в воздушной среде в стационарных условиях [1].

Общий вид печи приведен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Общий вид лабораторной печи SNOL 6,7/1300

Электропечь состоит из корпуса, камеры, двери, пульта управления. Корпус электропечи выполнен из листовой стали сварным. В верхней части корпуса смонтирован нагревательный блок из волокнистой теплоизоляции. Нагревательные элементы установлены по бокам камеры. В дверях помещена волокнистая теплоизоляция. Пульт управления смонтирован внизу корпуса. Рабочую камеру составляет нагревательный блок и плотно закрываемая дверь. Садка устанавливается на подовые плиты.

Технические характеристики печи представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики лабораторной печи SNOL 6,7/1300

Мощность, кВт	2,4
Напряжение питания, В	220
Частота переменного тока/число фаз, Гц	50/1
Габариты агрегата, мм	440x550x540
Масса, кг	35

Продолжение таблицы 1.1

Материал рабочей камеры	Волокно
Объём, л	6,7
Размеры рабочего пространства, мм	160x295x133
Стабильность температуры, °С	+/-2
Микропроцессорный терморегулятор	OMRON E5CC – 1 программа или OMRON E5CN-НТ / E5CC-НТ – 8 программ

Открытые нагреватели электропечи SNOL 6,7/1300 с камерой из волокна представляют собой элементы спирального типа на трубках из керамики.

Питание электропечи осуществляется от электросети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Регулирование и контроль температуры осуществляется электронным микропроцессорным терморегулятором, работающим совместно с термопарой. Электронный микропроцессорный терморегулятор с дисплеем отображает установленную и фактическую температуру и время технологического процесса. Электронный микропроцессорный терморегулятор с системой самонастройки и самодиагностики PID используют для обнаружения неисправностей.

Схема электрическая принципиальная печи показана (рис. 1.2).

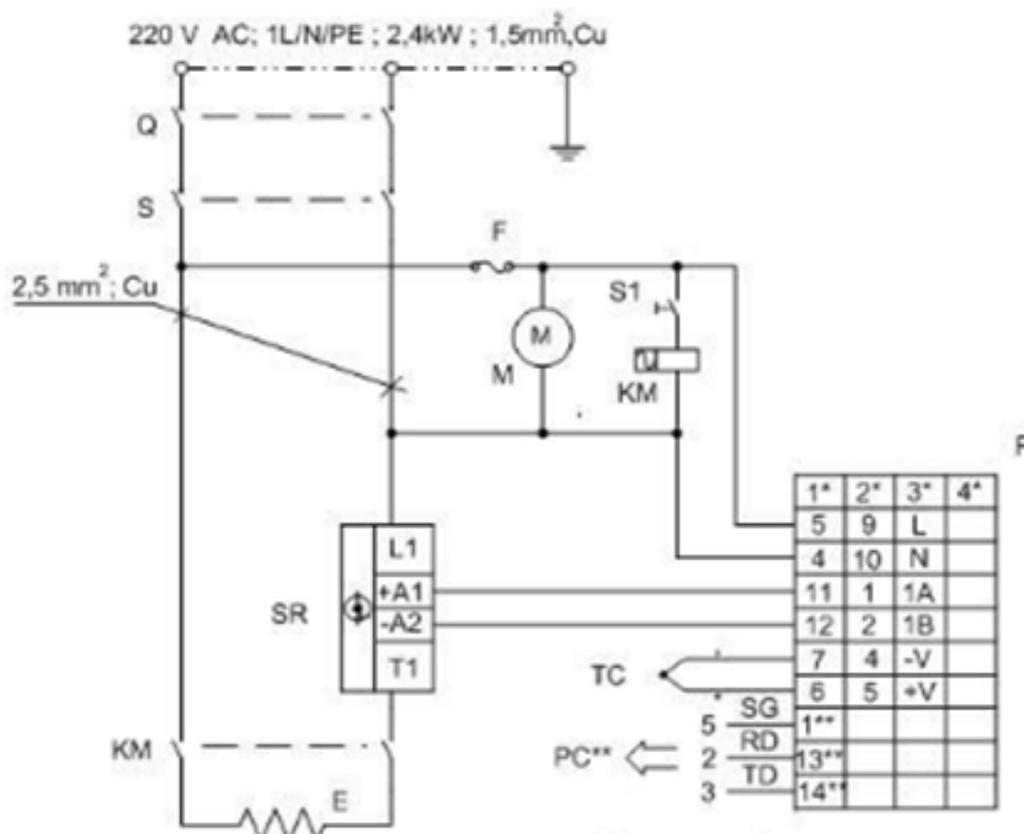


Рисунок 1.2 – Схема электрическая принципиальная лабораторной печи SNOL 6,7/1300

Перечень основных элементов электрооборудования печи приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Элементы электрооборудования лабораторной печи

Обозначение	Наименование	Тип	Производитель
Q	Автоматический выключатель	S260-B20	ABB
KM	Магнитный пускатель	A9-30-10	ABB
F	Предохранитель	-	-
S	Выключатель	OT16ET3	ABB
SR	Реле тиристорное	G3PB225BV D1224DC	OMRON
P	Регулятор температуры	E5CN, 320 8	OMRON
TC	Термопара	TK-MO(S)	Thermo-est
E	Нагреватель	-	-
M	Вентилятор	DP200A	-
S1	Выключатель	S1	OMRON

Электродуховка эксплуатируется в закрытых помещениях при температуре окружающей среды от 5 °С до 35 °С и относительной влажности окружающего воздуха не более 80 % при температуре +25 °С. При этом окружающая среда должна быть взрывобезопасной, не содержать значительного количества токопроводящей пыли, водяных паров, агрессивных газов в концентрациях, вредно влияющих на комплектующие изделия и материалы электродуховки. Духовка не рекомендуется использовать для нагрева лёгких металлов. При работе духовки следует использовать вытяжную вентиляцию. Электродуховка не должна подвергаться толчкам, ударам, тряске и вибрации.

Электродуховка рассчитана на номинальную температуру до 1300 °С, превышение которой запрещается из-за резкого снижения срока службы нагревателя. Дверь электродуховки открывают при температуре не выше 400 °С. Если температура выше, от термошока уменьшается время эксплуатации нагревательных элементов. Рабочая камера электродуховки изготовлена из высокоэффективной волокнистой теплоизоляции, требующей осторожного обращения. Необходимо избегать механического контакта садки со стенками и нагревательным элементом. Появление на внутренней поверхности камеры отдельных трещин, не развивающихся при дальнейшей эксплуатации, не влияет на эксплуатационные характеристики электродуховки.

1.2 Подготовка печи к работе и порядок работы

Перед началом эксплуатации, а также после длительного перерыва в эксплуатации или после хранения в сырых помещениях, необходимо

произвести сушку электропечи следующей последовательности. Включить электропечь, поднять температуру до 100–150 °С и выдержать при этой температуре в течение 2–3 часов, затем поднять температуру до 500 °С и выдержать в течении 1–2 часов. Далее следует поднять температуру до 1300 °С, выдержать в течении 1–2 часов, после чего можно начать работу.

При сушке возможно выделение дыма, что не влияет на технические характеристики электропечи.

Порядок работы с электропечью при выполнении тепловой обработки материалов включает следующие действия.

Открыть дверь электропечи. Установить садку на подовую плиту. Проверить, чтобы расстояние от стен камеры до садки было не менее 1/10 части габаритного размера печи для обеспечения циркуляции воздуха. При установке садки особое внимание обратить на термопару, чтобы не повредить её. Закрыть дверь электропечи. Включить выключатель, расположенный на передней панели печи.

По инструкции по эксплуатации терморегулятора установить желаемую программу и включить её исполнение. После окончания работы выключить выключатель, открыть дверцу печи и извлечь садку.

Для нормальной долговечной работы печи выполняют её техническое обслуживание. Для этого электропечь должна быть отключена от электросети и находиться в холодном состоянии. Не реже одного раза в год следует измерять сопротивление электрической изоляции. Высушить электропечь. Подключить мегомметр к корпусу электропечи и выводам нагревателя. Показание мегомметра должно быть не менее 0,5 МОм. Не реже одного раза в шесть месяцев следует проверить состояние контактных соединений электрической цепи. При необходимости контакты подтянуть.

После завершения работы, наружные поверхности электропечи, кроме маркировки, очистить ветошью, смоченной в воде.

1.3 Регулятор температуры. Программирование режима работы [2]

Регулятор температуры E5CN (фирмы OMRON) предназначен для автоматического контроля температуры в рабочем пространстве печи SNOL 6,7/1300 и задания режимов технологического процесса тепловой обработки материалов с точностью регулирования температуры ± 2 °С.

На рисунке 1.3 показаны общий вид и передняя панель микропроцессорного терморегулятора E5CN.

Цифрами на передней панели терморегулятора обозначены рабочие индикатора, кнопки управления и дисплеи:

1 – единицы измеряемой температуры (°С или F);

2 – индикаторы;

AL1 – тревога 1 (загорается, если включён выход тревоги 1);

AL2 – тревога 2 (загорается, если включён выход тревоги 2);
 НВ – вывод сигнала тревоги при сгорании нагревателя;
 OUT1, OUT2 – управляющий выход 1, управляющий выход 2 – загораются при их включении;

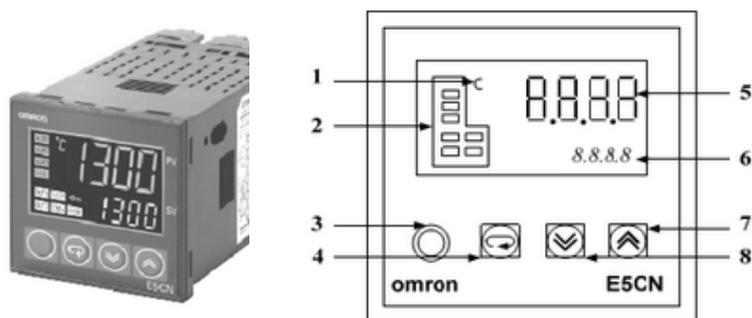


Рисунок 1.3 – Общий вид и передняя панель терморегулятора E5CN

STOP – СТОП. Загорается, если остановлено управление E5CN. Во время управления этот индикатор загорается после останова события или функции запуска/останова. В остальных случаях этот индикатор не горит;

CMW – управление записью при обмене данными. Загорается, если запись разрешена, и гаснет, если – запрещена;

3 – кнопка управления – клавиша выбора режима;

4 – кнопка управления – клавиша выбора параметра;

5 – дисплей PV – выводит значение измеряемой величины или тип параметра;

6 – дисплей SV – выводит рабочую точку, рабочую переменную или заданное значение (установку) параметра;

7 – кнопка управления – клавиша «вниз» («меньше») – при каждом нажатии этой клавиши осуществляется уменьшение значений, выводимых на дисплей SV;

8 – кнопка управления – клавиша «вверх» («больше») – при каждом нажатии этой клавиши осуществляется увеличение значений, выводимых на дисплей SV.

Характеристики терморегулятора E5CN приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Характеристики терморегулятора E5CN

Параметр	Характеристика
1	2
Напряжение питания, частота сети, В/Гц	От 100 до 240/ 50/60
Потребляемая мощность, ВА	7
Вход датчика	Термопара: К, J, Т, Е, L, U, N, R, S, В Платиновый термометр сопротивления: Pt100, JPt100. Бесконтактный термодатчик: 10–70 °С, 60–120 °С, 115–165 °С, 160–260 °С. Вход напряжения: 0–50 мВ.

Продолжение таблицы 1.3

1		2	
Управляющий выход		Выход реле: SPST-NO, 250 В, 3 А (активная нагрузка)	
Выход тревоги		SPST-NO, 250В, 1А (активная нагрузка)	
Режимы работы контроллера	ON/OFF	переменное включение/выключение выхода	
	2-ПИД	режим ПИД-регулятора	

На рисунке 1.4 показана схема подключения входных, выходных сигналов и питания к терморегулятору E5CN.

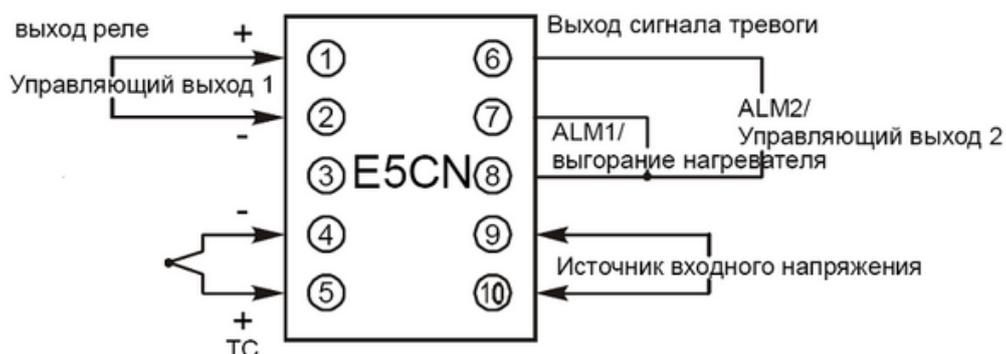


Рисунок 1.4 – Схема подключения входных и выходных сигналов контроллера

Источник питания подключается к клеммам 9 и 10. Клеммы 1 и 2 предназначены для подключения управляющего выхода. Выход сигнала «Тревога 1» (ALM1) расположен на клеммах 7 и 8, а выход сигнала «Тревога 2» (ALM2) – на клеммах 6 и 8. При использовании регулирования нагреванием и охлаждением выход сигнала «Тревога 2» может быть использован как выход охлаждения. Чтобы отключить выход сигнала «Тревога 1» и обеспечить выход только сигнала тревоги «Выгорание нагревателя» на клеммах 7 и 8, необходимо установить режим выхода сигнала «Тревога 1» в положение 0.

Регулятор температуры E5CN имеет два режима работы: рабочий и настройки [3].

Параметры рабочего режима переключаются кратковременным нажатием кнопки выбора режима, а конкретные значения параметров задают кнопками «больше» – «меньше».

SP-M – параметр указывает на температуру, которая должна быть в камере электропечи. Например, если температура в камере печи должна быть 200 °С, регулятор температуры показывает на дисплее SV следующую информацию:

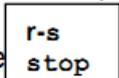
sp-M
200

Если скорость нагрева выключена (см. «Режим настройки»), то прибор данный параметр не показывает.

PRSt – старт программы. Если с помощью кнопок «больше» – «меньше» выбрать этот параметр, регулятор выполнит заданную программу и автоматически отключит нагрев печи. На дисплее SV для этого случая высветится такая информация . По окончании программы на дисплее SV мигает надпись «end».

Если кнопками «больше» – «меньше» установить параметр вида , программа будет остановлена.

SKTR – показывает время до окончания программы. Например, если до окончания программы осталось 5 мин., прибор на дисплее SV показывает . Если температура в печи некоторое время не находится в заданном диапазоне, то это время не засчитывается как время нагрева.

RS – включение/выключение нагрева. Если на дисплее прибора установлен  и выбрать режим , нагреватель печи обеспечит нагрев с заданной скоростью до установленной температуры. При этом установленная температура будет поддерживаться до тех пор, пока терморегулятор не будет отключён вручную с помощью режима .

Режим настройки (L.Adj) включается или выключается при кратковременном нажатии кнопки режима. Параметры режима настройки переключают кратковременным нажатием кнопки установки уровня, значения параметров задают нажатием кнопок «больше» или «меньше».

Метод регулирования выбирается с помощью параметра «PID/ ON/OFF» с помощью кнопок управления. При выборе значения этого параметра устанавливается «2-ПИД-регулирование», а при выборе значения – «Регулирование включением/выключением» – по умолчанию:

– «Регулирование включением/выключением» (ON/OFF). При использовании метода регулирования «ON/OFF» управляющий выход включается (ON), если текущее значение измеряемой величины ниже заданной точки. Управляющий выход выключается (OFF), если текущее значение измеряемой величины выше заданной точки;

– «2-ПИД-регулирование».

At – автоматический подбор параметров регулирования (ПИД-регулирование). Настройка производится с помощью AT (автоматической настройки), ST (самонастройки) и ручной настройки. Для настройки ПИД-регулирования необходимо задать константы ПИД в параметрах закона: «пропорциональную часть (P)», «время интегрирования (I)» и «время дифференцирования (D)».

В этом режиме работы выхода ТК необходимо настроить относительный диапазон, интегральное время и дифференциальное время регулятора (рис. 1.5).

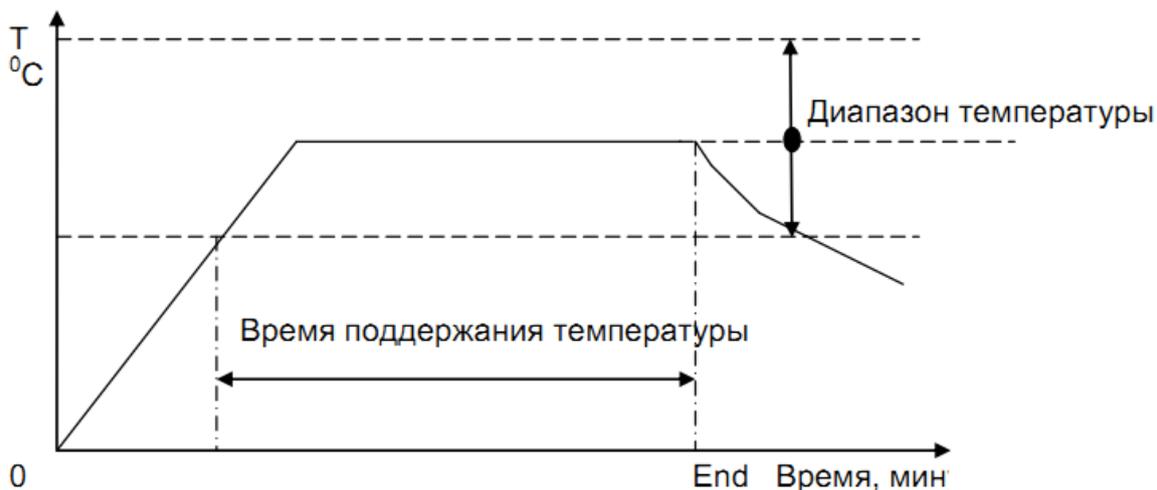


Рисунок 1.5 – Схема настройки параметров автоматического регулирования

Для выполнения АТ (автоматической настройки) задают «oN»: «выполнить АТ», а для отмены АТ (автоматической настройки) задают «oFF» – «отменить АТ».

Режимы работы и состояние дисплеев будет иметь вид:

выключение автоматической настройки – режим

at
oN

 приводит к миганию дисплея SV. Регулятор автоматически выключает автоматическую настройку, когда подобраны параметры закона регулирования. Эти параметры рекомендуется подбирать при рабочей температуре.

АТ (автоматическую настройку) нельзя выполнять во время двухпозиционного регулирования, выполняемого включением/выключением нагревателей (ON/OFF). Результат АТ (автоматической настройки) отражается в параметрах «пропорциональная часть (P)», «время интегрирования (I)» и «время дифференцирования (D)» на «уровне настройки».

iNS – сдвиг температуры в камере печи, которую показывает дисплей PV. В случае отсутствия отклонения температуры от заданной используют настройку

ins
0.0

.

SoAK – время поддержания заданной температуры в минутах (см. рис. 1.5). Пусть время выдержки при заданной температуре составляет 20 мин. Прибор должен быть установлен так, чтобы дисплей показывал

soak
20

.

Wt-b – диапазон температуры, задаваемый в градусах Цельсия. Диапазон температуры связан со временем нагрева (в соответствии с рис. 1.5), но не связан с точностью регулирования температуры. Пусть требуется задать диапазон температуры относительно оптимального значения равным 10 °C. На дисплее прибора должен быть установлен параметр

wt-b
10

. Время поддержания температуры отсчитывается в интервале температур на 10 °C больше и меньше заданной температуры. При других значениях температур, не входящих в

указанные пределы, время поддержания температуры не учитывается. Следует учитывать, если температура в камере печи ниже на 5 °С, чем заданная, дисплей PV светится жёлтым цветом, если выше на указанное значение – красным.

SPRt – скорость нагрева в градусах Цельсия в минуту. Пусть требуется задать скорость нагрева 5 °С/мин. Дисплей прибора должен показывать установку sprt
5. Если задание скорости нагрева не выполнено, электронагреватели печи обеспечивают максимальную скорость нагрева.

Ol-h – максимальная потребляемая мощность в процентах (не более 105).

Для этого случая на дисплее прибора высветится ol-h
105.0.

Ol-l – минимальная потребляемая мощность в процентах (не менее -5.0).

На дисплее прибора появится ol-l
-5.0.

Пусть необходимо реализовать процесс нагрева, выдержки при заданной температуре и последующего охлаждения так, как показано на рисунке 1.6.

При выполнении тепловой обработки следует обеспечить параметры, значения которых приведены в таблице 1.4.

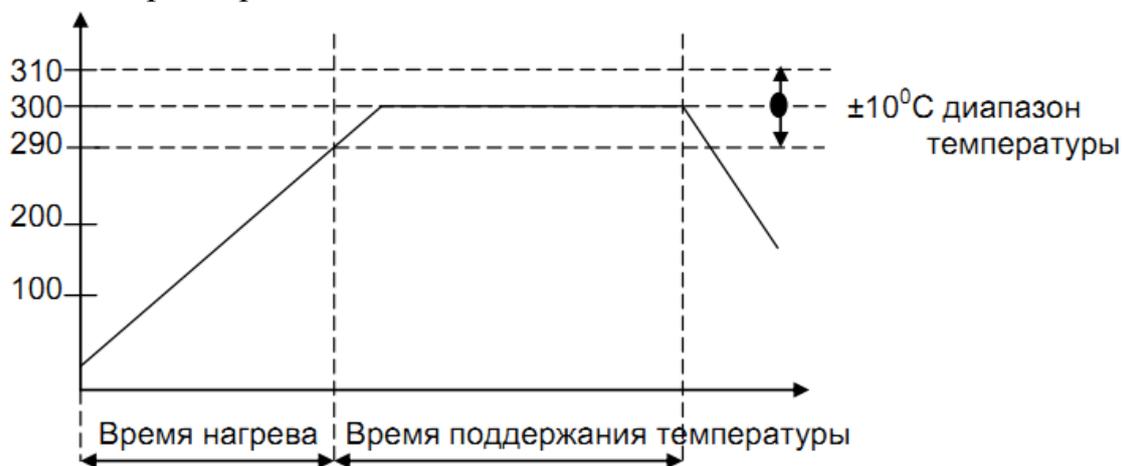


Рисунок 1.6 – График технологического процесса нагрева

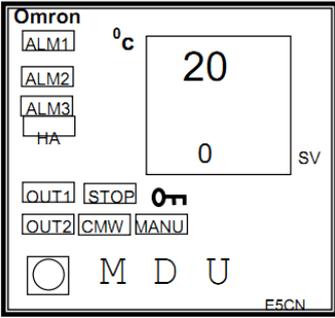
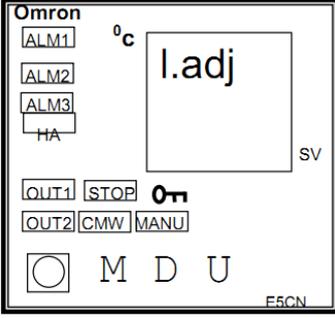
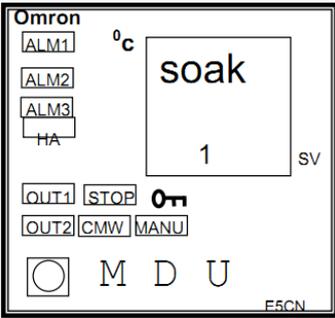
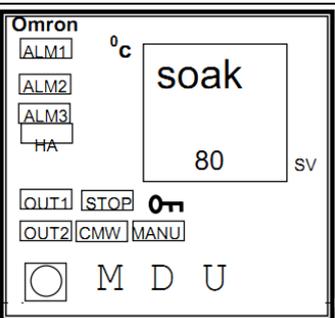
В соответствии с технологическим процессом электропечь будет нагреваться со скоростью 5 °С/мин до заданной температуры 300 °С и время выдержки после достижения установленной температуры составит 80 минут.

Таблица 1.4 – Параметры технологического процесса нагрева печи

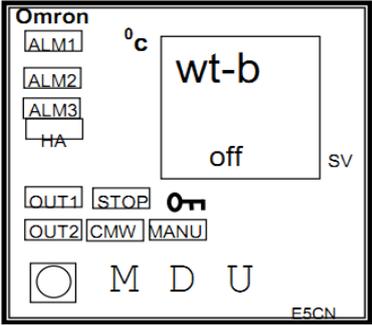
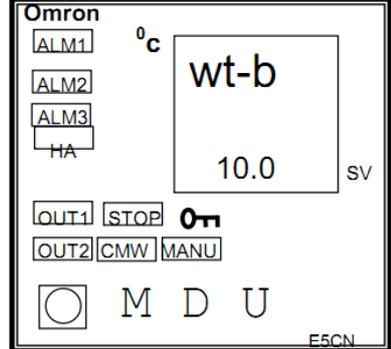
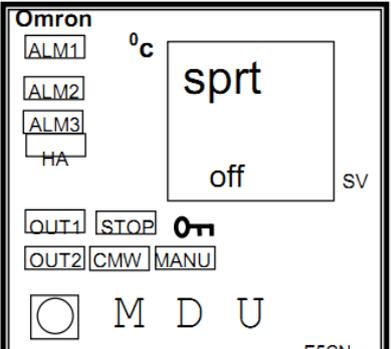
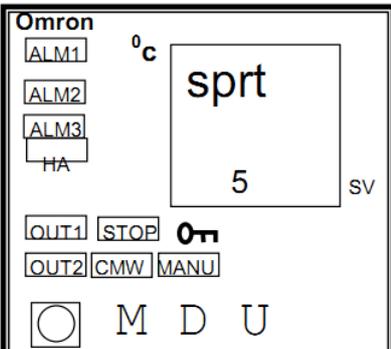
Время нагрева, мин.	Скорость нагрева, °С/мин.	Время поддержания температуры, мин.	Диапазон температуры, °С
Расчётное	SPRt	SoAK	Wt-b
Ориентировочно 60 мин.	5 °С/мин.	80 мин.	± 10

Последовательность установки параметров процесса, приведенных в таблице 1.4 представлена в виде таблицы 1.5.

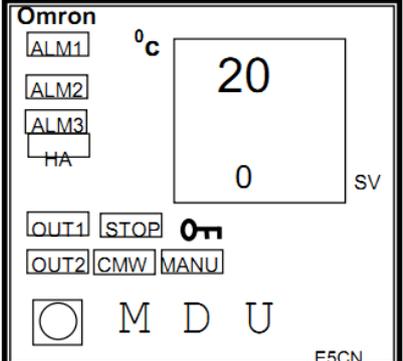
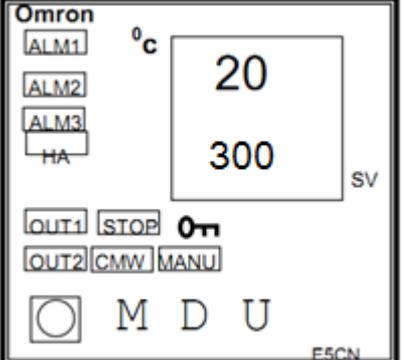
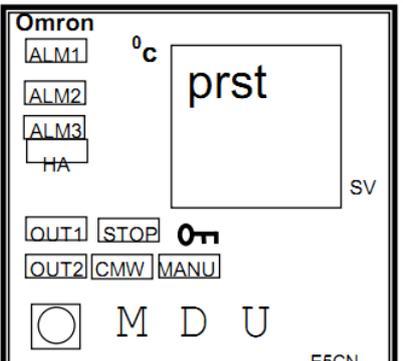
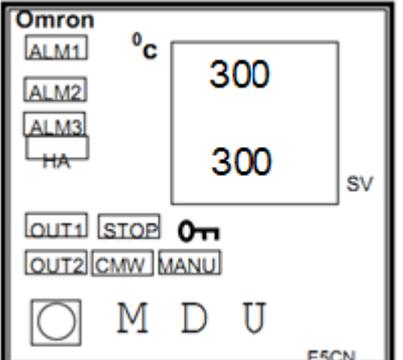
Таблица 1.5 – Последовательность установки параметров технологического процесса

Выполняемое действие	Состояние дисплеев прибора	Описание
1	2	3
Подготовка прибора к работе		<p>PV-дисплей показывает текущую температуру в рабочей камере печи (20 °C). SV-дисплей показывает заданную температуру, равную 0 °C</p>
Режим настройки		<p>Кратковременным нажатием режима  включают режим настройки, PV-дисплей при этом показывает L.adj</p>
Выбор параметра «Время поддержания заданной температуры»		<p>Кратковременным нажатием кнопки M выбрать параметр soak, который высветится на PV-дисплее. На SV-дисплее появится цифра 1</p>
Задание числового значения времени поддержания заданной температуры		<p>С помощью кнопки D (или U) на дисплее SV установить время поддержания заданной температуры 80 мин</p>

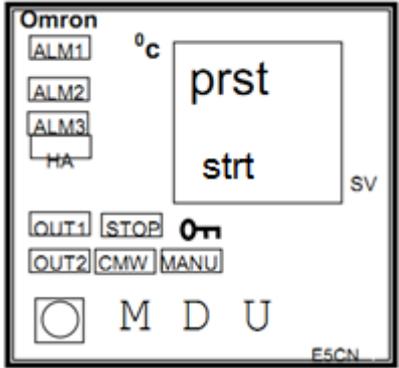
Продолжение таблицы 1.5

1	2	3
<p>Выбор режима диапазона изменения температуры</p>		<p>Нажатием кнопки М включают диапазон изменения температуры. На дисплее PV отображается параметр wt-b, на дисплее SV – off</p>
<p>Установка диапазона изменения температуры</p>		<p>Кнопками D (или U) установить диапазон изменения температуры ± 10 °C. На дисплее PV высветится wt-b. На дисплее SV – 10.0</p>
<p>Выбор режима регулирования скорости нагрева</p>		<p>Нажать кнопку М и выбрать на экране PV параметр sprt. На экране SV дисплея появится off. Если значение скорости нагрева не задано, электропечь нагревается с максимальной скоростью</p>
<p>Задание значения скорости нагрева печи</p>		<p>Кнопками D (или U) установить диапазон изменения температуры 5 °C в минуту. На дисплее PV высветится sprt. На дисплее SV – 5</p>

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3
<p>Установка рабочего режима</p>	 <p>The screenshot shows the Omron E5CN control panel. The PV display shows '20' and the SV display shows '0'. The temperature unit is °C. The 'STOP' button is lit. The 'M D U' buttons are visible at the bottom.</p>	<p>Нажать кнопку выбора режима, включится рабочий режим. На дисплее PV высветится 20. SV показывает 0</p>
<p>Задание рабочей температуры</p>	 <p>The screenshot shows the Omron E5CN control panel. The PV display shows '20' and the SV display shows '300'. The temperature unit is °C. The 'STOP' button is lit. The 'M D U' buttons are visible at the bottom.</p>	<p>Кнопками D (или U) установить рабочую температуру 300 °C. На дисплее PV высветится 20. На дисплее SV – 300</p>
<p>Включение исполнения заданной программы</p>	 <p>The screenshot shows the Omron E5CN control panel. The PV display shows 'prst' and the SV display shows 'pset'. The temperature unit is °C. The 'STOP' button is lit. The 'M D U' buttons are visible at the bottom.</p>	<p>Нажимать кнопку выбора параметров до тех пор, пока на дисплее PV не появится параметр prst. На дисплее SV – pset. Нажимать кнопку U до появления надписи strt</p>
<p>Выполнение заданной программы</p>	 <p>The screenshot shows the Omron E5CN control panel. Both the PV and SV displays show '300'. The temperature unit is °C. The 'STOP' button is lit. The 'M D U' buttons are visible at the bottom.</p>	<p>После нажатия кнопки старт печь набирает заданную температуру. После её достижения на экране дисплея PV и SV высветится 300</p>
<p>Окончание выполнения программы</p>	<p>-</p>	<p>После достижения установленной температуры на PV дисплее светится цифра 300, SV мигает оранжевым цветом</p>

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3
Установка прибора в исходное состояние		<p>Нажатием кнопки М выбрать на PV дисплее параметр prst, на SV дисплее отобразится параметр strt.</p> <p>Нажатием кнопки D установить на SV дисплее параметр rset. Выполнение программы будет остановлено</p>

1.4 Порядок выполнения работы

Изучить подразделы 1.1–1.3 практической работы.

Ознакомиться с устройством и назначением электрической печи SNOL 6,7/1300, электрической схемой печи, порядком программирования регулятора температуры для различных режимов его работы.

Проверить работоспособность печи в режиме пробного пуска.

По вариантам заданий, выданных преподавателем, выполнить программирование автоматического режима работы с помощью регулятора температуры.

Осуществить запуск печи для выполнения программы и провести контроль времени нагрева до заданной температуры.

Составить отчёт по проделанной работе с отражением выполненных действий и полученных результатов.

При составлении структурных частей отчёта следует учитывать требования ГОСТ 7.32 [4] и СТБ 7.1 [5].

При оформлении отчёта необходимо использовать возможности текстового редактора Microsoft Word. Отчёт в виде файлов *фамилия_группа.docx*, *фамилия_группа.pdf* необходимо сохранить на сервере кафедры.

Образец титульного листа отчёта приведен в ПРИЛОЖЕНИИ А.

Практическая работа 2.

Изучение процесса ручной дуговой сварки в среде защитных газов и оборудования для реализации процесса, расчёт режимов сварки

2.1 Понятие о дуговом разряде

Дуговой разряд – один из видов электрического разряда в газе.

Электрический дуговой разряд был открыт русским ученым В. В. Петровым в 1802 г.

В обычных условиях различные газы и их смеси (воздух, аргон, водород, гелий, углекислый газ и др.) не проводят электрический ток.

Электрическая дуга между двумя электродами в воздухе при атмосферном давлении образуется следующим образом:

при увеличении напряжения между двумя электродами до определённого уровня в воздухе между электродами возникает электрический пробой. Напряжение электрического пробоя зависит от расстояния между электродами и других факторов. Потенциал ионизации первого электрона атомов металлов составляет приблизительно 4,5–5 В, а напряжение дугообразования – в два раза больше (9–10 В). Требуется затратить энергию на выход электрона из атома металла одного электрода и на ионизацию атома второго электрода. Процесс приводит к образованию плазмы между электродами и горению дуги.

Для инициирования пробоя при имеющемся напряжении электроды приближают друг к другу. Во время пробоя между электродами обычно возникает искровой разряд, импульсно замыкая электрическую цепь. Электроны в искровых разрядах ионизируют молекулы в воздушном промежутке между электродами. При достаточной мощности источника напряжения в воздушном промежутке образуется достаточное количество плазмы для значительного падения напряжения пробоя или сопротивления воздушного промежутка. При этом искровые разряды превращаются в дуговой разряд – плазменный шнур между электродами, являющийся плазменным тоннелем. Возникающая дуга является, по сути, проводником и замыкает электрическую цепь между электродами. В результате средний ток увеличивается ещё больше, нагревая дугу до 2500–4500 °С. При этом считается, что поджиг дуги завершён. После поджига устойчивое горение дуги обеспечивается термоэлектронной эмиссией с катода, разогреваемого током и ионной бомбардировкой.

После поджига дуга может оставаться устойчивой при разведении электрических контактов до некоторого расстояния.

Взаимодействие электродов с плазмой дуги приводит к их нагреву, частичному расплавлению, испарению, окислению и другим видам эрозии.

Вследствие высокой температуры электроды дуги испускают ослепительный свет, и поэтому электрическая дуга является одним из лучших источников света. Электрическая дуга впервые была использована для

освещения в 1875 г. русским инженером-изобретателем Павлом Николаевичем Яблочковым (1847–1894) и получила название «русского света» или «северного света».

Хотя в широкой практике дуговые лампы в настоящее время почти полностью вытеснены лампами накаливания, в ряде случаев, где требуются очень мощные и яркие источники света, например, в прожекторах, при киносъемке и т. п., дуговые лампы применяются очень часто.

Электрическая дуга применяется для сварки металлических деталей (электрическая дуговая сварка). Возможность такого применения дуги была также указана В. В. Петровым и впервые разработана русскими изобретателями Н. Н. Бенардосом (1885 г.) и Н. Г. Славяновым (1890 г.). Свариваемые детали служат положительным электродом; касаясь их угольным электродом, соединенным с отрицательным полюсом источника тока, получают дугу, плавящую металл.

В настоящее время электрическую дугу широко применяют также в промышленных электропечах. В мировой промышленности около 90 % инструментальной стали и почти все специальные стали выплавляются в электрических дуговых печах.

Большой интерес представляет ртутная дуга, горящая в кварцевой трубке, так называемая кварцевая лампа. В этой лампе дуговой разряд происходит не в воздухе, а в атмосфере ртутного пара, для чего в лампу вводят небольшое количество ртути, а воздух откачивают. Свет ртутной дуги чрезвычайно богат невидимыми ультрафиолетовыми лучами, обладающими сильными химическим и физиологическим действиями. Чтобы можно было использовать это излучение, лампу делают не из стекла, которое сильно поглощает ультрафиолетовое излучение, а из плавленного кварца. Ртутные лампы широко применяют при лечении разнообразных болезней, а также при научных исследованиях как сильный источник ультрафиолетового излучения. Свет ртутной лампы чрезвычайно вреден для глаз.

Поскольку сварка металлов в настоящее время находит широкое применение, далее рассматривается её использование на примере сварочного полуавтомата фирмы Oliver.

2.2 Назначение и устройство сварочного полуавтомата Oliver MIG 200S

В процессе работы реализуется процесс GMAW (Gas metal arc welding) – газовая сварка металла в среде защитного газа [6]. Чаще всего используют аббревиатуру MIG/MAG – Metal Inert Gas/ Metal Active Gas.

MIG/MAG-сварка – электродуговая сварка на постоянном токе с использованием сварочной проволоки, которая поступает в зону сварки с определённой скоростью, и подачей защитного газа. При использовании

инертных газов (аргона, гелия) реализуется процесс MIG. При использовании углекислого газа и его смесей получают процесс MAG.

Серия инверторов Oliver с силой тока 140–200А при питании от сети 220В, 250А (при питании от сети 380В) предназначена для дуговой механизированной сварки плавящимся электродом в среде защитных газов (MIG/MAG).

Основные технические характеристики сварочного аппарата приведены ниже [7]:

- входное напряжение сети при частоте 60 Гц, В – 220 ± 15 %;
- максимальная потребляемая мощность, кВА – 6,59;
- диапазон сварочного тока, А – 40–200;
- диапазон выходного напряжения, В – 16,5–26,5;
- рабочий цикл, % – 60 (рабочий цикл предполагает непрерывную сварку в течение 10 мин на максимальном сварочном токе);
- коэффициент электрической мощности, $\cos \varphi$ – 0,93;
- КПД, % – 85;
- тип подающего устройства (при работе с проволокой) – встроенное;
- скорость подачи проволоки, м/мин – 2,5–18;
- время подачи газа после сварки, сек – 1,0;
- диаметр сварочной катушки, мм – 270,0;
- диаметр сварочной проволоки, мм – 0,8–1,0;
- класс защиты – IP23S;
- класс изоляции – F;
- габариты, мм – 495x195x320;
- вес, кг – 17.

Общий вид сварочного полуавтомата Oliver MIG 200S показан на рисунке

2.1.



Рисунок 2.1 – Общий вид сварочного полуавтомата

Схематическое изображение передней и задней панели полуавтомата показано на рисунке 2.2. Цифрами обозначены следующие элементы:

- 1 – выключатель питания;
- 2 – предупреждающий индикатор (при перегреве сварочного полуавтомата индикатор загорается, что указывает на необходимость перерыва в работе на 2–3 мин, после чего аппарат снова готов к работе);
- 3 – разъем для присоединения баллона с защитным газом (углекислым или аргоном);
- 4 – переключатель горелки (обычная сварочная горелка – влево; горелка Push-Pull – вправо);
- 5 – регулятор сварочного напряжения;
- 6 – регулятор давления газа дуги «Arc Force»;
- 7 – регулятор скорости подачи проволоки (сварочного тока);
- 8 – разъем для подключения сварочной горелки;
- 9 – разъем для подключения кабеля с зажимом массы (для варианта использования порошковой проволоки);
- 10 – разъем для подключения системы управления горелкой;
- 11 – разъем для подключения кабеля с зажимом массы (для варианта использования компактной проволоки).

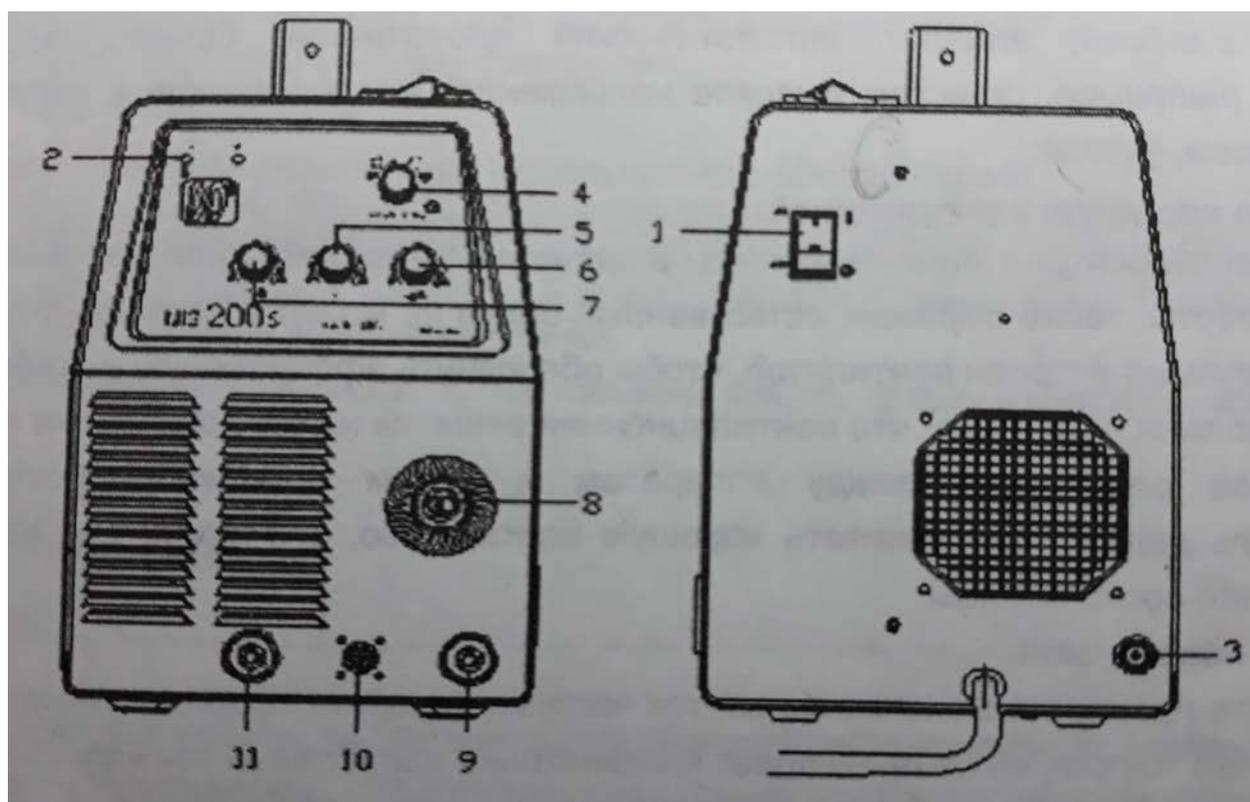


Рисунок 2.2 – Расположение элементов на панелях сварочного полуавтомата

При использовании сварочного полуавтомата следует учитывать длину кабеля для подключения свариваемых деталей. При увеличении длины

рекомендуется увеличивать сечение кабеля, чтобы снизить потери напряжения. В противном случае затрудняется пуск дуги и работа систем полуавтомата.

Заземление корпуса аппарата выполняют проводом сечением не менее 6 мм².

2.3 Подготовка сварочного полуавтомата к работе

Сварочный полуавтомат может использоваться как на стационарном посту сварщика, так и в мобильных условиях, когда требуется его перенос в пределах места выполняемых работ.

Для выполнения работы следует использовать баллон углекислого газа (либо аргона) с датчиком расхода и давления, который подключают к впускному клапану на задней панели полуавтомата.

В разъем на передней панели вставляют кабель заземления.

Катушку с проволокой устанавливают на привод каркаса механизма подачи проволоки, используя для позиционирования установочный штифт. Общая схема механизма подачи проволоки и входящие в неё элементы показаны на рисунке 2.3.

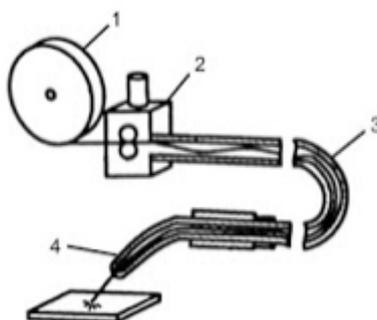


Рисунок 2.3 – Элементы механизма подачи проволоки:

- 1 – катушка с проволокой; 2 – подающий механизм; 3 – гибкий шланг;
4 – наконечник

Пропускают проволоку в соответствующий паз механизма подачи, соответствующий размеру проволоки. Катушка с проволокой должна вращаться по часовой стрелке, чтобы обеспечивалось её разматывание. Конец проволоки пропускают через фиксационное кольцо на катушке.

Газовую горелку вставляют в соответствующий разъем на передней панели и плотно к нему притягивают. Сварочную проволоку в горелку заправляют вручную.

Открывают кран на газовом баллоне, датчиком давления и расходомером настраивают требуемое значение давление газа в подающую проволоку и газ кабеле.

Переводят переключатель 4 в соответствующее положение (в зависимости от выбранного способа сварки).

Регулятором 7 настраивают сварочный ток и скорость подачи проволоки, регулятором 5 – напряжение сварки в зависимости от характера выполняемых работ и толщины свариваемых деталей, руководствуясь данными, приведенными в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры сварки материалов

Свариваемый металл	Толщина, мм	Метод сварки	Диаметр проволоки, мм	Диапазон сварочного тока, А
Углеродистая сталь	0,6–4,0	CO ₂ /MAG*	0,6/0,8/1,0	40–160
Низколегированная сталь	0,8–8,0	CO ₂ /MAG	0,8/1,0/1,2	60–230
Аустенитная нержавеющая сталь	1,0–8,0	MIG	1,2	80–230

*MAG – дуговая сварка плавящимся электродом в среде активного газа; MIG – дуговая сварка плавящимся электродом в среде инертного газа.

Устанавливают регулятор давления дуги «Arc Force» для задания интервала «мягкая-жесткая дуга».

Нажимают переключатель на горелке, чтобы выдвинуть проволоку из мундштука на 2–4 мм.

После выполнения описанных действий сварочный полуавтомат готов к работе.

2.4 Защитные газы и их характеристика

– Двуокись углерода CO₂ при её использовании даёт высокую скорость плавления, обеспечивает широкий и выпуклый профиль шва. Однако появляется большое количество нестабильных капель сварочной проволоки, что приводит к увеличению брызг вокруг сварочного шва, а также увеличивает количество испарений металла.

– Аргон, гелий и их смесь используют при сварке цветных металлов и их сплавов. Эти газы дают меньшую скорость плавления свариваемых деталей и более узкий сварочный шов. Аргон даёт меньшее количество брызг при сварке. Гелий обеспечивает более высокую скорость плавления и выпуклый профиль сварочного шва. Однако сварочное напряжение возрастает при аналогичной сварке аргоном и увеличивается расход газа.

– Универсальная смесь, состоящая из 75 % аргона и 25 % двуокиси углерода используется для сварки углеродистой стали. При использовании газа такого состава образуется минимальное количество брызг и уменьшается вероятность прожига тонких металлов.

2.5 Порядок выполнения сварки

Перед сваркой свариваемый металл должен быть зачищен от краски, ржавчины, масляных и прочих загрязнений.

Для выполнения работы подбирают сварочную проволоку соответствующего диаметра. При этом диаметр сварочной проволоки влияет на размер шва, глубину проникновения дуги, прочность шва и скорость сварки.

Для возникновения дугового разряда проволока должна выступать из наконечника на определённую длину (рис. 2.4). Наиболее приемлемая длина выхода сварочной проволоки находится в пределах 8–14 мм от торца наконечника.

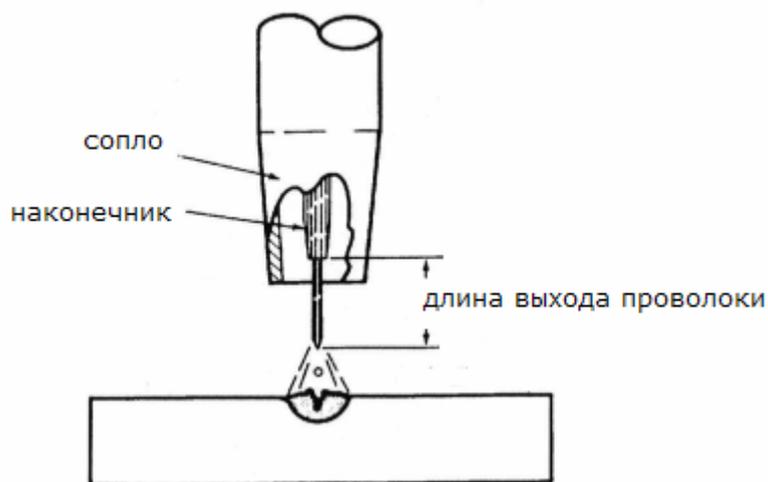


Рисунок 2.4 – Расположение сварочной проволоки перед началом сварки

При выполнении сварки с применением порошковой проволоки без использования защитного газа длина выхода сварочной проволоки должна составлять 30–45 мм.

Порошковая проволока (флюсовая) имеет ядро (сердечник), в который входят компоненты, образующие газ во время сварки, антиокислители, очистители, а также присадки, улучшающие условия образования электрической дуги (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Конструкция порошковой сварочной проволоки

Для создания нормальных условий при сварке следует учитывать полярность подключения электродов сварочного полуавтомата и свариваемых деталей. При прямой полярности сварочная проволока подключается к минусовому выходу сварочного полуавтомата, масса – к свариваемому металлу. При обратной полярности сварочная проволока подключается к положительной клемме полуавтомата, свариваемые детали – к отрицательной клемме.

При сварке с использованием сварочной проволоки и защитного газа сварочная проволока подключается к положительной клемме полуавтомата, масса – к отрицательной клемме. Для сварки с использованием порошковой проволоки используют прямую полярность включения электродов.

Для получения сварочного шва осуществляют кратковременное касание концом сварочной проволоки свариваемых деталей либо быстрым боковым движением электрода к свариваемому изделию («чирканием»), что обеспечивает зажигание электрической дуги, затем отводят торец сопла на расстояние, обеспечивающее устойчивое горение дуги. Затем выполняют перемещение сварочной горелки вдоль свариваемых деталей. Движение электрода при формировании шва является колебательным.

На качество сварки влияет положение сварочной проволоки при формировании различных видов швов.

Сварочные соединения в зависимости от положения свариваемых деталей относительно друг друга разделяют на стыковочные, потолочные, угловые, горизонтальные, нахлесточные, вертикальные, тавровые и прочие. Характеристики пространства между деталями определяют количество проходов, за которые удастся положить ровный и качественный шов. Маленькие и короткие соединения выполняют одним проходом, длинные – несколькими. Накладывать шов можно непрерывно либо точечно.

В зависимости от толщины свариваемых деталей следует выбрать движение сварочной горелкой, которые осуществляют при сварке.

Для металлов толщиной 1–2 мм применяют волнисто-зигзагообразное движение, при котором дуга воздействует на оба свариваемых элемента. Это позволит получить прочный герметичный шов.

Прямой шов без каких-либо колебательных движений применяют при сварке металлов практически любой толщины, однако необходим практический опыт для получения качественных швов.

При сварке тонких деталей (толщиной менее 1 мм) сварку обычно осуществляют короткими импульсами с перерывами между ними, чтобы металл успел охладиться.

Сварку швов длиной до 300 мм выполняют с одного конца шва до другого за один проход. При большей длине детали сваривают от середины к концам деталей. В ряде случаев по длине будущего шва выполняют так называемые прихватки, которые удерживают детали от деформирования при сварке.

Важно контролировать скорость сварки, которая должна соответствовать скорости подачи проволоки и напряжению, обеспечивающему устойчивое горение дуги, поскольку скорость оказывает влияние на форму и качество шва.

Угол сварочной горелки по отношению к свариваемым деталям обычно составляет 15–20° от вертикального положения (при сварке нижних швов).

При этом наклон электрода относительно шва оказывает большое влияние на глубину провара и качество шва. В зависимости от угла наклона сварку можно производить «углом назад» и «углом вперед».

При сварке «углом назад», когда сварочная горелка движется от сварщика, улучшается видимость зоны сварки за дугой, повышается глубина провара и наплавленный металл получается более плотным.

При сварке «углом вперед» лучше наблюдать за свариваемыми кромками и направлять электрод точно по зазору. Ширина валика при этом возрастает, а глубина провара уменьшается. Этот способ рекомендуется применять при сварке тонкого металла, где существует опасность сквозного прожога.

Для увеличения ширины шва, уменьшения его высоты и улучшения плавности перехода от усиления шва к основному металлу перемещение электрода выполняют по схемам, приведенным на рисунке 2.6.

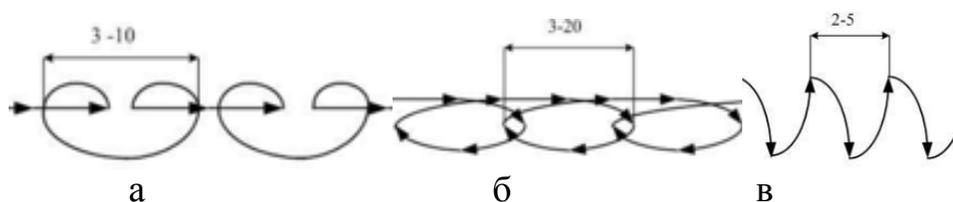


Рисунок 2.6 – Схема движения торца проволоки к основному металлу:
а и в – для получения равномерного провара по всей ширине шва,
б – для получения плавного перехода от усиления шва к основному металлу на одну сторону от его продольной оси

2.6 Параметры режима сварки

К параметрам режима сварки в углекислом газе относят: род электрического тока и полярность, силу сварочного тока, напряжение дуги, скорость сварки, расход защитного газа, диаметр электродной проволоки, скорость подачи проволоки, вылеты конца электрода из контактного токоподводящего мундштука и из сопла горелки, наклоны электрода относительно продольной оси шва.

При полуавтоматической сварке в углекислом газе обычно применяют постоянный ток обратной полярности, так как сварка током прямой полярности приводит к неустойчивому горению дуги и уменьшению коэффициента наплавки.

Диаметр электродной проволоки и параметры режима сварки выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла.

Марка электродной проволоки выбирается в зависимости от свариваемого металла, конструктивных и технологических особенностей сварной конструкции. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей

применяются электродные проволоки марки СВ-08Г2С, СВ-08ГС, СВ-07ГСЮ диаметром 0,8–1,4 мм. Они обеспечивают значительно большую производительность, чем при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, но разбрызгивание электродного металла составляет 5–6 %. Для сварки теплоустойчивых сталей применяются электродные проволоки марок СВ-08ХГСМФ, СВ-08ХГСМА. Для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей применяются порошковые проволоки марок ПП-АН4, ПП-АН8, ПП-АН9, ПП-АН10, ПП-АН13, ПП-АН18, ПП-АН20. Порошковые проволоки общего назначения ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, СП 1, СП 2 применяются для сварки без защиты конструкций из углеродистых и низколегированных строительных сталей. Легированные проволоки сплошного сечения СВ-15ГСТЮЦА и СВ-20ГСТЮА применяются для сварки без защиты углеродистых и марганцовистых сталей и для сварки арматуры периодического профиля. Скорость подачи электродной проволоки выбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить устойчивое горение дуги. Скорость полуавтоматической сварки устанавливается сварщиком в зависимости от толщины свариваемого металла и площади поперечного сечения шва. Расход углекислого газа выбирается в зависимости от положения шва в пространстве, движения окружающего воздуха и составляет 5–20 дм³/мин. Вылет электрода – длина электрода между его концом и выходом из мундштука. Он оказывает значительное влияние на устойчивость процесса сварки и качество сварного шва. С увеличением вылета ухудшается устойчивость горения дуги и формирование шва и увеличивается разбрызгивание. При сварке с очень малым вылетом затрудняется наблюдение за процессом сварки и часто подгорает контактный токоподводящий мундштук.

2.7 Порядок проведения работы

Ознакомиться с сущностью процесса дуговой сварки в углекислом газе.

Изучить устройство сварочного полуавтомата, порядок заправки сварочной проволоки и устройство привода её подачи в зону сварки, подключение электродов к панели полуавтомата, настройку давления и скорости подачи, напряжения и силы тока для сварки, порядок выбора марки и диаметра электрода на основе заданных преподавателем данных о характеристике сварного соединения.

Самостоятельно изучить правила маркировки сварных швов и указания их характеристик. Для изучения использовать ГОСТ 2.312 [8] .

Провести настройку полуавтомата, выполнить сварку и заполнить таблицу параметров сварки.

Оформить отчёт о проделанной работе в соответствии с требованиями, изложенными в [4–5].

Лабораторная работа 3. Аппарат воздушно-плазменной резки Jasic CUT 40. Разработка процесса резки исходных заготовок

3.1 Общие понятия о плазменной резке

Плазменная резка – вид плазменной обработки материалов, при котором в качестве режущего инструмента используется струя плазмы.

Между электродом и соплом аппарата, или между электродом и разрезаемым металлом зажигается электрическая дуга. В сопло подаётся газ под давлением в несколько атмосфер, превращаемый электрической дугой в струю плазмы с температурой от 5000 до 30000 градусов Цельсия и скоростью от 500 до 1500 м/с. Толщина разрезаемого металла может достигать до 1500 мм. Первоначальное зажигание дуги осуществляется высоковольтным импульсом или коротким замыканием между анодом и катодом в случае косвенной дуги, и форсункой и разрезаемым металлом в случае прямой дуги. Форсунки охлаждаются потоком газа (воздушное охлаждение) или жидкостным охлаждением. Воздушные форсунки, как правило, надёжнее, форсунки с жидкостным охлаждением используются в установках большой мощности и дают лучшее качество обработки.

Используемые для получения плазменной струи газы делятся на активные (кислород, воздух) и неактивные (азот, аргон, водород, водяной пар). Активные газы в основном используются для резки чёрных металлов, а неактивные – цветных металлов и сплавов.

Преимущества плазменной резки:

- обрабатываются любые металлы – черные, цветные, тугоплавкие сплавы и т. д.;
- скорость резания малых и средних толщин в несколько раз выше скорости газопламенной резки;
- небольшой и локальный нагрев разрезаемой заготовки, исключаящий её тепловую деформацию и значительное увеличение твёрдости;
- невысокая шероховатость и высокое качество поверхности разреза;
- безопасность процесса (нет необходимости в баллонах со сжатым кислородом, горючим газом и т. д.);
- возможна сложная фигурная вырезка;
- отсутствие ограничений по геометрической форме.

Существуют следующие способы плазменной резки.

Раскрой заготовок плазменной струей применяется для обработки материалов, не проводящих электрический ток. При резке этим методом дуга горит между формирующим наконечником плазматрона и электродом, а сам разрезаемый объект в электрической цепи не участвует. Для разрезания заготовки используется струя плазмы.

Плазменно-дуговой резке подвергаются токопроводящие материалы. При выполнении резки этим методом дуга горит между разрезаемой заготовкой и

электродом, её столб совмещен со струей плазмы. Последняя образуется за счет поступления газа, его нагрева и ионизации. Газ, продуваемый через сопло, обжимает дугу, придает ей проникающие свойства и обеспечивает интенсивное плазмообразование. Высокая температура газа создает высочайшую скорость истечения и увеличивает активное воздействие плазмы на плавящийся металл. Газ выдувает из зоны реза капли металла. Для активизации процесса используется дуга постоянного тока прямой полярности.

Плазменно-дуговая резка применяется при:

- производстве деталей с прямолинейными и фигурными контурами;
- вырезании отверстий или проёмов в металле;
- изготовлении заготовок для сварки, штамповки и механической обработки;
- обработке кромок поковок;
- резке труб, полос, прутков и профилей;
- обработке литья.

В дальнейшем рассматривается процесс плазменно-дуговой резки, выполняемый с помощью воздушно-плазменной резки Jasic CUT 40.

Характеристики:

- Модель – Jasic CUT 40.
- Пределы регулировки сварочного тока, А – 20–38.
- КПД, % – 85.
- Потребляемая мощность, кВт – 3,4.
- Коэффициент электрической мощности – $\cos \varphi$ 0,93.
- Максимальная толщина резки, мм – 12.
- Габаритные размеры, мм – 420x220x320.
- Масса, кг – 8,6.

3.2 Конструкция аппарата воздушно-дуговой резки [9]

Общий вид аппарата представлен на рисунке 3.1, его конструкция приведена на рисунке 3.2.



Рисунок 3.1 – Общий вид аппарата воздушно-дуговой резки

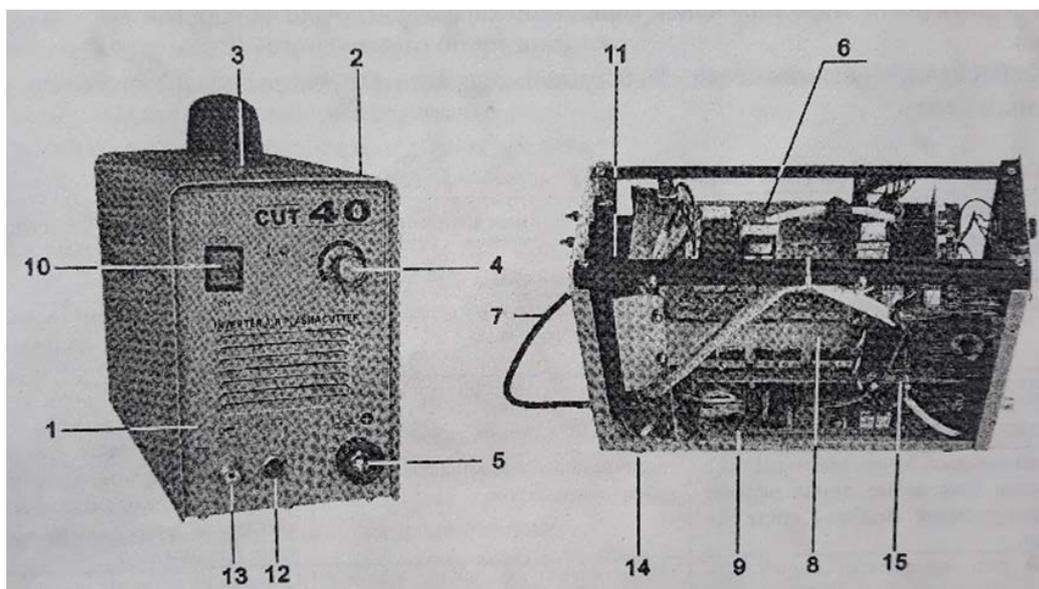


Рисунок 3.2 – Устройство аппарата воздушно-дуговой резки:
 1 – передняя панель, 2 – крышка; 3 – ручка; 4 – регулятор тока;
 5 – штепсельная розетка; 6 – верхняя печатная плата; 7 – кабель ввода;
 8 – теплопоглотитель; 9 – нижняя печатная плата; 10 – основной выключатель; 11 – вентилятор; 12 – контрольная розетка; 13 – розетка кнопки; 14 – ножка опорная; 15 – центральная печатная плата

Важным элементом аппарата является плазматрон (или плазменная горелка, плазменный резак). В нём образуется плазма, служащая режущим инструментом, обеспечивающим разрезание исходных заготовок. Конструкция плазмотрона показана на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Устройство плазмотрона – аппарата воздушно-дуговой резки

Выбор плазматрона зависит от особенностей материалов или продуктов, которые требуется резать. Плазматрон всегда должен быть достаточной мощности, обеспечивать качественную резку в тяжелых рабочих условиях и при интенсивной эксплуатации, быть стойким к ударам. Можно использовать плазматроны разной конструкции. Используют плазматроны с медным или керамическим наконечником. Плазматрон с медным соплом, которое более прочно, чем керамическое, практически не бьётся при случайных ударах, имеет воздушное охлаждение.

Рукоятка может быть укомплектована крепящимся к плазматрону дополнительным элементом, который будет поддерживать наконечник на расстоянии от 1,6 мм до 3 мм от рабочей поверхности. Это облегчает работу оператора, так как можно двигать плазматрон на постоянном требуемом расстоянии от рабочей поверхности. Длина дополнительного элемента (фиксированное расстояние между рабочей поверхностью и плазматроном) зависит от толщины разрезаемого металла и требуемой силы тока. Используя при резке малые токи, можно соплом прикоснуться к поверхности металла или провести по металлу. При использовании для резки большого тока (выше 60 А) расстояние между горелкой и поверхностью металла должно быть 1,6–4,5 мм.

При выборе плазматрона для плазменной резки необходимо определиться, для каких целей он будет использоваться, так как возможны различные конструктивные решения. Например, если он используется исключительно в диапазоне малых токов и может разрезать только тонкие листы металла, тогда для охлаждения плазматрона защитный газ не требуется, поэтому в этом случае в плазматрон подается только необходимый для резки воздух. Если плазматрон используется для резки толстых листов металла, то требуется больший ток, поэтому в плазматрон желательно подавать не воздух, а защитный газ (азот) для охлаждения плазматрона. При этом качество резки улучшается.

Плазматрон с медным полым электродом в связи с рядом его особенностей комплектуется источником питания с более высоким напряжением холостого хода. Увеличения напряжения дуги приводит к росту мощности плазматрона, что благоприятно влияет на резку. С медным полым электродом плазматрон может работать и на нейтральных, и на кислородосодержащих газах.

Такого рода плазматрон состоит из катодного и соплового узлов, которые разделены вихревой камерой, куда подается газ. Узел катода – это медный полый электрод, запрессованный в корпус. Сопловой узел – это водоохлаждаемая секция со сквозным каналом.

На мощность плазматрона влияет увеличение тока дуги, а также изменение расстояние между срезом сопла и изделием. При силе тока на дуге 400 А и толщине металла до 80 мм стойкость сопла и внутреннего электрода плазматрона составит 120–150 часов.

Схема подключения агрегатов для организации плазменной резки показана на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Схема подключения аппаратов для организации плазменной резки

3.3 Плазмообразующие газы и их влияние на возможности резки

Плазмообразующая среда определяет технологический потенциал процесса резки. Для резки используются следующие газы: воздух, кислород, водород, азот, аргон. Часто применяют смеси этих газов, состав которых зависит от разрезаемого материала.

От состава газа зависит возможность:

- настройки показателя теплового потока в зоне обработки металла и плотности тока в нем (за счет изменения отношения сечения сопла к току);
- варьирования объема тепловой энергии в широких пределах;
- регулирования показателя поверхностного напряжения, химического состава и вязкости материала, который подвергается резке;
- контроля глубины насыщенного газом слоя, а также характера химических и физических процессов в зоне обработки;
- защиты от появления подпльвов на металлических и алюминиевых листах (на их нижних краях);
- формирования оптимальных условий для выноса из полости реза расплавленного металла.

Кроме того, многие технические параметры оборудования, используемого для плазменной резки, зависят от состава среды. К ним относят следующие:

- конструкция охлаждающего механизма для сопел устройства;
- вариант крепления в плазматроне катода, его материал и уровень интенсивности подачи на него охлаждающей жидкости;
- схема управления агрегатом (его циклограмма определяется именно расходом и составом газа, используемого для формирования плазмы);
- динамические и статические (внешние) характеристики источника питания, а также показатель его мощности.

Наиболее известным, традиционным, широко применяемым газом при плазменной резке, является воздух. Поэтому способ иногда называют

воздушно-плазменной резкой. При его использовании хорошо режутся низкоуглеродистые стали, можно резать легированные стали, медь, алюминий.

Воздух является самым дешёвым газом, который при этом обеспечивает достаточно высокое качество реза. Недостатком воздуха является азотирование разрезаемых кромок, что приводит при их сварке к образованию пор. Кроме того, вследствие азотирования увеличивается твердость кромок и ухудшается их механическая обрабатываемость. При увеличении толщины металла начинает проявляться непараллельность стенок реза.

Кислород, кроме выдувающей функции, обеспечивает сгорание разрезаемого металла, что улучшает параллельность стенок реза, и устраняет заусенцы. В сочетании со специальной конструкцией плазмотрона с закруткой струи при использовании кислорода удалось создать так называемую узкоструйную плазму, которая обеспечивает малую ширину реза, что особенно важно при вырезке сложных профилей с большим количеством изгибов.

Водород отдельно как плазмообразующий газ не используется, но может быть добавкой к другим газам. Благодаря высокой теплоемкости и теплопроводности он способствует передаче тепла от дуги к металлу, увеличивая эффективность процесса резки. Это особенно важно при резке цветных металлов, обладающих высокой теплопроводностью. Водород часто добавляют к аргону, который обеспечивает наилучшее качество при резке меди, но сам обладает низкой тепловой эффективностью. Добавляют водород и к азоту.

Азот используется в смеси с другими газами или как самостоятельный плазмообразующий газ. В нём дуга горит при меньших токах, что позволяет снизить тепловую нагрузку на электрод и сопло. В последнее время интенсивно разрабатываются новые схемы процесса плазменной резки с использованием дополнительной среды, подаваемой в отдельное сопло.

Наиболее известны следующие комбинации газов, которые обеспечивают высокие скорости и качество резки:

– режущий газ – азот, дополнительный – воздух; область применения – резка нержавеющей сталей и алюминия;

– режущий газ – смесь 35 % Ar + 65 % N₂, дополнительный – азот; область применения – резка нержавеющей сталей и алюминия больших толщин;

– режущий газ – смесь 95 % N₂ + 5 % H₂, дополнительный – азот; область применения – резка нержавеющей сталей малых толщин с высоким качеством реза.

Дополнительная среда ограничивает размеры дуги, способствует её сжатию и концентрации тепла. Кроме того она защищает сопло от брызг, улучшает его охлаждение. Улучшается также охлаждение разрезаемых кромок, что уменьшает их деформацию.

Иногда вместо газа в качестве дополнительной среды используют воду, которая подается в сопло или находится небольшим слоем на поверхности разрезаемой детали. Наличие воды образует вокруг дуги водяной колокол,

внутри которого находится пар. Пар создает высокое давление, которое сжимает дугу и способствует выдуванию из реза расплавленного металла. Это увеличивает эффективность процесса резки. Наличие же воды под разрезаемой деталью способствует поглощению газа, аэрозолей и других продуктов резки, уменьшает шум от работы плазматрона, что улучшает экологичность процесса.

3.4 Подготовка аппарата плазменной резки к работе, выбор газов для резки

При подготовке оборудования к резке низкоуглеродистых сталей в аппарат плазменной резки подается сжатый воздух. Возможны три источника сжатого воздуха: баллоны сжатого воздуха, подключение к имеющейся на заводе системе сжатого воздуха или небольшой воздушный компрессор. Большинство аппаратов плазменной резки имеют регулятор, необходимый для подачи и распределения потока воздуха в системе.

При подборе необходимого тока и скорости резки лучше всего выполнить несколько разрезов при более высоком значении тока. Затем, при необходимости, в зависимости от скорости резки, можно уменьшать ток. Если ток слишком высок или скорость резки слишком маленькая, разрезаемый металл перегревается и может образоваться окалина. Правильно подобрав скорость резки и ток, получают разрез, на поверхности которого почти не образуются окалины, мало или абсолютно не деформируется разрезаемый металл. Резку начинают, располагая плазматрон как можно ближе к краю разрезаемого основного металла.

Для резки цветных металлов следует выбрать режущий газ или его смесь в соответствии с рекомендациями, приведенными в подразделе 3.3.

3.5 Порядок выполнения работы

Изучить материалы, приведенные в подразделах 3.1–3.4.

Выполнить подготовку аппарата к резке. Проверить наличие сжатого воздуха в подающей магистрали.

Настроить параметры резки (силу тока) в зависимости от толщины разрезаемого материала. Выполнить пробный поджиг плазменной дуги. Наблюдать за процессом её горения.

Под наблюдением преподавателя или лаборанта осуществить пробный рез листового материала.

Этапы выполненной работы оформить в виде отчёта, выполняя требования, приведенные в источниках [4–5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Электродпечь лабораторная SNOL 6,7/1300. Паспорт. – АВ «Umega» Dpt. SNOL Narkūnai : LT-28104, Utena, Lietuva (Lithuania), 2011. – 19 с.

2 Регулятор температуры E5CN. Инструкция по эксплуатации. – АВ «Umega» Dpt. SNOL Narkūnai : LT-28104, Utena, Lietuva (Lithuania).), 2011. – 25 с.

3 Практическая работа № 4. «Изучение технических характеристик и основ программирования регулятора температуры OMRON E5CN» / StudFiles.net [Электронный ресурс]. – URL : <https://studfile.net/preview/5762275/page:4/> (дата обращения: 16.04.2024).

4 ГОСТ 7.32–2017. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ. Структура и правила оформления : взамен ГОСТ 7.32–2001 : дата введения 2018–07–01. – Минск : Госстандарт, 2019. – 27 с.

5 СТБ 7.1–2024. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления = Бібліяграфічны запіс. Бібліяграфічнае апісанне. Агульныя патрабаванні і правілы складання. – Впервые : дата введения 2024–10–01 : Утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 12 февраля 2024 г. № 10. – Минск : Госстандарт, 2024. – 64 с.

6 Технология сварки полуавтоматом. КУЗОВ.INFO [Электронный ресурс]. – URL : <https://kuzov.info/tehnologia-svarki-poluavt-migmag/>. (дата обращения: 16.04.2024).

7 Сварочные полуавтоматы Oliver MIG 140S/160S/200S/250S. Технический паспорт. Инструкция по эксплуатации. – Минск : ООО «ОЛИВЕР», 2011. – 19 с.

8 ГОСТ 2.312–72. Единая система конструкторской документации. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений : взамен ГОСТ 2.312–68 : дата введения : 1973–01–01. – Москва : Стандартиформ (переиздание с Изм. № 1), 2010. – 10 с.

9 JASIC CUT30/ CUT40/ CUT30II/ CUT40III/ CUT60J/ CUT70/ CUT100(R85)/ CUT160. Инструкция по эксплуатации аппарата плазменной резки. Технический паспорт. – Минск : ООО «ОЛИВЕР», 2011. – 12 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Образец оформления титульного листа отчёта по практическим работам

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»
Кафедра «Технология машиностроения»

ОТЧЁТ

по практическим работам по дисциплине
«Электротехнологические установки»

Выполнил: студент гр. Тэт-1

Иванов И. Н.

Проверил: ст. преподаватель

Петров И. И.

Витебск, 20__

Учебное издание

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Методические указания по выполнению практических работ

Составитель:
Савицкий Василий Васильевич

Редактор *Р. А. Никифорова*
Корректор *А. С. Прокопюк*
Компьютерная вёрстка *В. В. Савицкий*

Подписано к печати 13.01.2025. Усл. печ. листов 2,3.
Уч.-изд. листов 2,9. Заказ № 10.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.