

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

# ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

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

Часть 2



Могилев 2022

УДК 621.7  
ББК 30.68  
О 22

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «02» февраля 2022 г., протокол № 8

Составитель канд. техн. наук, доц. С. М. Фурманов

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине «Оборудование сварки плавлением» предназначены для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

## ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

### Часть 2

Ответственный за выпуск

А. О. Коротеев

Корректор

Т. А. Рыжикова

Компьютерная верстка

М. М. Дударева

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, 2022

## Содержание

7 Практическое занятие № 7. Расчет и выбор элементов электрической схемы сварочных полуавтоматов для механизированной дуговой сварки .....	4
8 Практическое занятие № 8. Расчет и выбор элементов электрической схемы сварочных автоматов для дуговой сварки .....	13
9 Практическое занятие № 9. Расчет и выбор элементов электрической схемы аппаратов для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом .....	24
10 Практическое занятие № 10. Расчет и выбор элементов электрической схемы аппаратов для плазменной сварки и резки .....	29
Список литературы .....	32

## Часть 2

### 7 Практическое занятие № 7. Расчет и выбор элементов электрической схемы сварочных полуавтоматов для механизированной дуговой сварки

**Цель работы:** рассчитать источник питания для механизированной дуговой сварки с тиристорным регулятором.

#### 7.1 Пример решения задачи

Рассчитать сварочный источник для для механизированной дуговой сварки, рассчитанный на сварочный ток 60...180 А при выходном напряжении 17...23 В.

##### 7.1.1 Расчет сварочного трансформатора.

Трансформатор имеет напряжение холостого хода вторичной обмотки  $U_2 = 30,8$  В. Максимальный ток вторичной обмотки  $I_2 = 180$  А.

Определим габаритную мощность сварочного трансформатора:

$$P_{\text{габ}} = U_2 \cdot I_2 = 30,8 \cdot 180 = 5544 \text{ Вт.}$$

Рассчитаем габаритные размеры трансформатора:

$$S_o \cdot S_c = \frac{100 \cdot P_{\text{габ}}}{2,22 \cdot B_m \cdot J \cdot F \cdot K_o \cdot K_c},$$

где  $J$  – плотность тока в обмотках, для меди Cu  $J = 8$  А/мм<sup>2</sup>, для алюминия Al  $J = 5$  А/мм<sup>2</sup>, для комбинированной медно-алюминиевой CuAl обмотки  $J = 6,5$  А/мм<sup>2</sup>;

$F$  – частота сети, Гц;

$K_o$  – коэффициент заполнения окна,  $K_o = 0,33...0,4$ ;

$K_c$  – коэффициент заполнения стали,  $K_c = 0,95$ .

Пусть первичная обмотка наматывается медным проводом, а вторичная алюминиевым. Тогда

$$S_o \cdot S_c = \frac{100 \cdot 5544}{2,22 \cdot 1,42 \cdot 6,5 \cdot 50 \cdot 0,33 \cdot 0,95} = 1726 \text{ см}^4.$$

Для стержневых трансформаторов [ 7, рисунок 2.2 ] рекомендуются следующие соотношения размеров:

$$X = \frac{c}{a} = 1,6; Y = \frac{b}{a} = 2; Z = \frac{h}{a} = 2,5 \dots 5.$$

Следовательно,

$$S_o \cdot S_c = a^4 \cdot X \cdot Y \cdot Z.$$

Если  $Z = 4$ , то  $S_o S_c = a^4 \cdot 1,6 \cdot 2 \cdot 4 = a^4 \cdot 12,8$ .

Отсюда можно найти размер  $a$  сердечника:

$$a = \sqrt[4]{\frac{S_o \cdot S_c}{12,8}} = \sqrt[4]{\frac{1726}{12,8}} = 3,4 \text{ см.}$$

Выбираем  $a = 3,5$  см. Зная размер  $a$ , найдем размеры  $c$ ,  $b$ ,  $h$ :

$$c = a \cdot X = 3,5 \cdot 1,6 = 5,6 \text{ см;}$$

$$h = a \cdot Z = 3,5 \cdot 4 = 14 \text{ см;}$$

$$b = \frac{S_o \cdot S_c}{a \cdot c \cdot h} = \frac{1726}{3,5 \cdot 5,6 \cdot 14} = 6,3 \text{ см.}$$

Определим ЭДС одного витка трансформатора:

$$\begin{aligned} E_B &= 4,44 \cdot 10^{-4} \cdot B_m \cdot F \cdot S_c \cdot K_c = 4,44 \cdot 10^{-4} \cdot B_m \cdot F \cdot a \cdot b \cdot K_c = \\ &= 4,44 \cdot 10^{-4} \cdot 1,42 \cdot 50 \cdot 3,5 \cdot 6,3 \cdot 0,95 = 0,65 \text{ В/вит.} \end{aligned}$$

Количество витков вторичной обмотки:

$$W_2 = \frac{U_2}{E_B} = \frac{30,8}{0,65} = 48 \text{ витков.}$$

Сечение алюминиевого провода вторичной обмотки:

$$S_2 = \frac{I_2}{J_{Al}} = \frac{180}{5} = 36 \text{ мм}^2.$$

Количество витков первичной обмотки

$$W_1 = \frac{U_1}{E_B} = \frac{220}{0,65} = 340 \text{ витков.}$$

Сечение провода первичной обмотки

$$S_1 = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{I_2}{J_{Cu}} = \frac{30,8}{220} \cdot \frac{180}{8} = 3,15 \text{ мм}^2.$$

Для намотки первичной обмотки можно использовать эмалированный медный провод:

- диаметр 2,2 мм, если секции первичной обмотки включены последовательно;
- диаметр 1,45 мм, если секции первичной обмотки включены параллельно.

### 7.1.2 Расчёт дросселя.

Основная первичная обмотка дросселя до насыщения должна иметь индуктивность 0,3 мГн, а дополнительная вторичная обмотка – 7,5 мГн.

Максимальный ток первичной обмотки  $I_1 = 180$  А, а вторичной  $I_2 = 13$  А. Сердечник дросселя должен войти в насыщение, если ток первичной обмотки превышает  $I_{нас} = 132$  А.

Предварительно считаем, что первичная обмотка дросселя будет мотаться алюминием, а вторичная – медью. Ранее определено, что при ПВ = 20 % для меди допустима плотность тока  $J_{Cu} = 8$  А/мм<sup>2</sup>.

Так как алюминий имеет более высокое до сравнению с медью удельное сопротивление, то для него нужно выбирать плотность тока в 1,6 раза меньше, т. е.  $J_{Al} = 5$  А/мм<sup>2</sup>.

Так как известны индуктивности обмоток дросселя, то коэффициент трансформации дросселя

$$K_{ТР} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{0,3}{7,5}} = 0,2.$$

Чтобы учесть разницу между действующим током и током насыщения, необходимо значение плотности тока  $J$  умножить на коэффициент насыщения:

$$K_{нас} = \frac{I_{нас}}{I_1} = \frac{132}{180} = 0,733.$$

Чтобы выделить место в окне сердечника для дополнительной обмотки, следует умножить габарит сердечника на коэффициент.

$$K_{до} = \frac{I_1 \cdot K_{ТР} + 0,625 \cdot I_2}{I_1 \cdot K_{ТР}} = \frac{180 \cdot 0,2 + 0,625 \cdot 13}{180 \cdot 0,2} = 1,226.$$

В качестве сердечника для дросселя выберем Ш-образный ленточный сердечник из стали 3411 (Э310).

$$S_C \cdot S_O = \frac{100 \cdot L \cdot I_{\text{нас}}^2 \cdot K_{\text{ДО}}}{B_m \cdot J_{\text{Al}} \cdot K_{\text{нас}} \cdot K_C \cdot K_O} = \frac{100 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 132^2 \cdot 1,226}{1,42 \cdot 5 \cdot 0,733 \cdot 0,95 \cdot 0,35} = 370 \text{ см}^4.$$

Для дросселя можно использовать один сердечник ШЛ 32Х50 ( $S_C = 16 \text{ см}^2$ ;  $S_O = 26 \text{ см}^2$ ;  $S_C \cdot S_O = 416 \text{ см}^4$ ).

Определим количество витков первичной обмотки:

$$W_1 = \frac{100 \cdot S_O \cdot K_O \cdot J_{\text{Al}} \cdot K_{\text{нас}}}{I_{\text{нас}} \cdot K_{\text{ДО}}} = \frac{100 \cdot 26 \cdot 0,35 \cdot 5 \cdot 0,733}{132 \cdot 1,226} = 20 \text{ витков.}$$

Количество витков вторичной обмотки

$$W_2 = \frac{W_1}{K_{\text{ТР}}} = \frac{20}{0,2} = 100 \text{ витков.}$$

Первичная обмотка наматывается проводом сечением

$$S_1 = \frac{I_1}{J_{\text{Al}}} = \frac{180}{5} = 36 \text{ мм}^2.$$

Вторичная обмотка наматывается проводом сечением

$$S_2 = \frac{I_2}{J_{\text{Cu}}} = \frac{13}{8} = 1,625 \text{ мм}^2.$$

Длина немагнитного зазора

$$\delta = \frac{I_{\text{нас}} \cdot W_1}{796 \cdot B_m} = \frac{132 \cdot 20}{796 \cdot 1,42} = 2,3 \text{ мм.}$$

Результирующая индуктивность первичной обмотки дросселя

$$L_1 = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 16 \cdot 0,95 \cdot 20^2}{2,3} = 0,33 \text{ мГн.}$$

Индуктивность получилась больше, чем нужно. Для получения требуемой индуктивности уменьшим количество первичной обмотки до  $W_1 = 18$ . Соответственно,  $W_2 = 90$  витков и  $\delta = 2 \text{ мм}$ .

### 7.1.3 Конструкция сварочного трансформатора и дросселя.

Так как в источнике используется трансформатор, имеющий стержневой сердечник, то обмотка наматывается на двух одинаковых каркасах, где каждая из обмоток может быть собрана из двух последовательных или параллельных секций.

*Первичная обмотка* трансформатора содержит 340 витков и наматывается эмалированным медным проводом диаметром 2,2 мм, если секции включаются последовательно, и диаметром 1,45 мм, если секции включаются параллельно.

*Вторичная обмотка* трансформатора содержит 48 витков и наматывается алюминиевой шиной сечением 36 мм<sup>2</sup>, если секции включаются последовательно, и 18 мм<sup>2</sup>, если секции включаются параллельно.

Перед намоткой каркас следует усилить, насадив на деревянную оправку. Отверстие, предназначенное для насадки на сердечник, должно быть больше размеров сердечника на 1,5...2 мм, что позволит впоследствии собрать трансформатор.

Сначала наматывается первичная обмотка, а затем вторичная.

После намотки каждого слоя провода обмотку следует уплотнить легкими ударами деревянного молотка. Если трансформатор изготавливается в кустарных условиях, то каждый слой провода необходимо промазывать пропиточным лаком.

В качестве межслойной изоляции используется прессшпан толщиной 0,5 мм. Для вторичной обмотки берется алюминиевая прямоугольная шина подходящего сечения. В крайнем случае можно извлечь круглую жилу подходящего сечения из электрического кабеля. При этом с провода нужно удалить пластиковую изоляцию, а затем плотно обмотать киперной лентой или тонкой хлопчатобумажной тканью, предварительно порезанной на полосы шириной 20 мм.

После намотки и пропитки трансформатор следует просушить.

Температура и время сушки определяются маркой используемого пропиточного лака.

*Сердечник трансформатора* набран из пластин холоднокатаной трансформаторной стали шириной 35 мм и толщиной 0,35 мм (холоднокатаная сталь, в отличие от горячекатаной, имеющей почти черный цвет, имеет белый цвет). Можно использовать листовую сталь от списанного трансформатора трансформаторной подстанции.

Имеющееся железо сначала рубят на полосы шириной 35 мм, потом режут на фрагменты длиной 95 и 179 мм. Заусенцы на краях рубленого железа необходимо удалить с помощью надфиля или мелкого напильника. Сердечник собирается «вперекрышку» с возможно меньшими зазорами в местах стыковки отдельных листов. Конструкция сердечника трансформатора изображена на рисунке 7.1.

*Двухобмоточный дроссель  $L_1$*  наматывается на стандартном Ш-образном ленточном сердечнике ШЛ 32Х50. Первичная обмотка содержит 18 витков алюминиевой шины сечением 36 мм<sup>2</sup>. Вторичная обмотка наматывается медным эмалированным проводом диаметром 1,45 мм.

При сборке в стыки сердечника необходимо вставить прокладки толщиной 1 мм (суммарный зазор 2 мм) из текстолита или другого немагнитного и непроводящего материала.



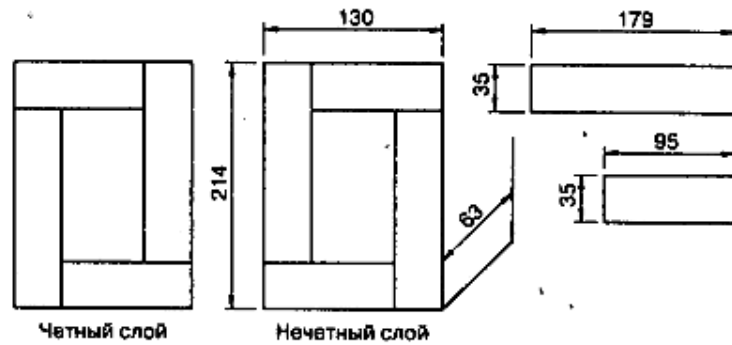


Рисунок 7.1 – Конструкция сердечника трансформатора

Для подключения первичной обмотки трансформатора к сети  $\sim 220$  В следует использовать кабель с медной жилой сечением не менее  $2,5 \text{ мм}^2$  и силовую розетку на ток 25 А, имеющую заземляющий нож, который соединяют с сердечником трансформатора и с защитным кожухом. При этом заземляющий контакт розетки должен быть надежно заземлен.

Положительный полюс источника обычно выводится на специализированный разъем, предназначенный для подключения шлангового держателя. Через этот же разъем подключается кнопка  $S_2$ , расположенная на держателе.

Отрицательный полюс выходного напряжения источника необходимо подключить к латунной шпильке диаметром 10 мм, установленной на диэлектрической термостойкой панели, которая крепится к защитному кожуху источника. В качестве сварочных концов можно использовать мягкие медные провода сечением  $16\text{--}25 \text{ мм}^2$ .

#### 7.1.4 Схема электрическая принципиальная.

На рисунке 7.2 изображена принципиальная электрическая схема сварочного источника с тиристорным регулятором для полуавтоматической сварки.

Источник питается от однофазной сети 220 В, 50 Гц. Основой источника является сварочный трансформатор  $T1$ . Он гальванически разделяет сеть и сварочную цепь, а также снижает напряжение сети до величины, необходимой для питания сварочной дуги.

Переменное напряжение со вторичной обмотки трансформатора  $T1$  подается на вход управляемого двухполупериодного выпрямителя  $VD7, VD8, VS3, VS4$ , с помощью которого осуществляется регулировка сварочного напряжения. Для поддержания горения дуги в паузах выпрямленного напряжения используется специальный двухобмоточный сглаживающий дроссель  $L1$ .

Дополнительно в состав источника для полуавтоматической сварки входят специализированные узлы управления подачей защитного газа и сварочной проволоки, которые питаются от постоянного напряжения 24 В. Постоянное напряжение 24 В получается с помощью отдельного маломощного трансформатора  $T2$  и двухполупериодного выпрямителя  $VD1 - VD4$ .

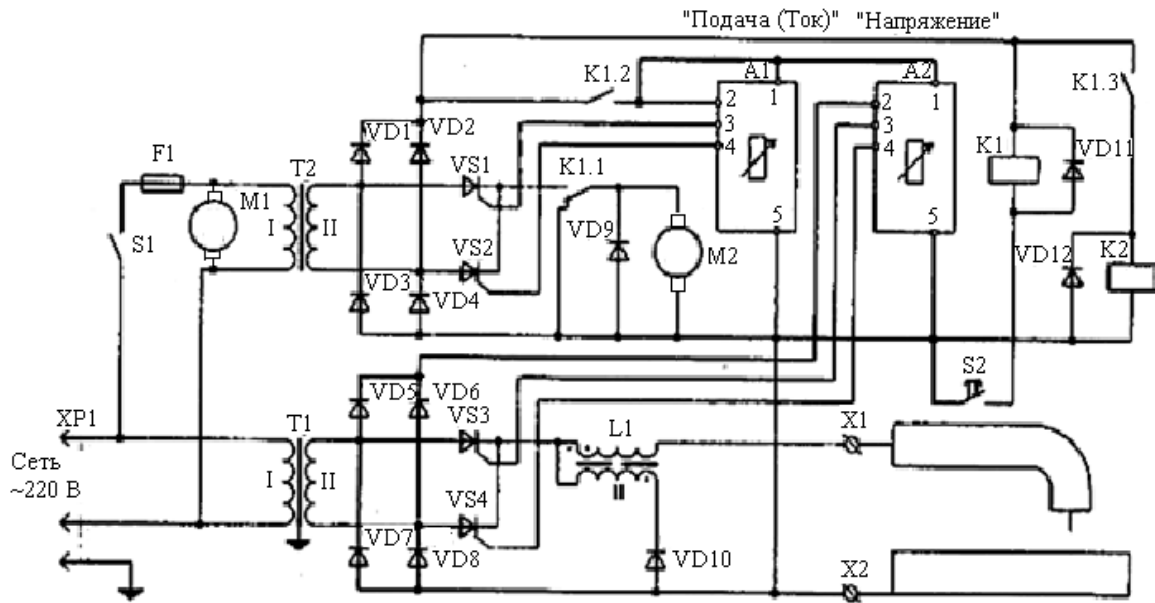


Рисунок 7.2 – Схема электрическая принципиальная сварочного источника для механизированной сварки с тиристорным регулятором

Диоды  $VD3$ ,  $VD4$  вместе с тиристорами  $VS1$ ,  $VS2$  образуют управляемый выпрямитель, с помощью которого регулируется скорость подачи проволоки. Контроль включенного состояния источника осуществляется при помощи светодиода  $HL1$ .

Узел управления источником выполнен на реле  $K2$ . Источник включается путем нажатия кнопки  $S2$ , которая находится на держателе. При этом срабатывает реле  $K1$  и своим контактом  $K1.1$  подключает двигатель подачи  $M2$  к выходу управляемого выпрямителя  $VD3$ ,  $VD4$ ,  $VS1$ ,  $VS2$ .

Контакт  $K1.3$  включает газовый клапан  $K2$ , осуществляющий подачу защитного газа в зону сварки. Через контакт  $K1.2$  с выхода выпрямителя  $VD1 - VD4$  выпрямленное пульсирующее напряжение подается на выводы питания (1, 5) блоков управления  $A1$  и  $A2$ .

С помощью блока управления  $A1$  регулируется скорость подачи проволоки, а с помощью блока  $A2$  осуществляется установка сварочного напряжения.

После подачи питания блоки управления  $A1$ ,  $A2$  начинают формировать импульсы управления, которые через выводы 3, 4 поступают на управляющие электроды тиристоров и открывают их.

С выхода управляемого выпрямителя  $VD7$ ,  $VD8$ ,  $VS3$ ,  $VS4$  напряжение через первичную обмотку дросселя  $L1$  поступает на сварочный держатель.

С выхода управляемого выпрямителя  $VD3$ ,  $VD4$ ,  $VS1$ ,  $VS2$  напряжение через замкнутый контакт  $K1.1$  поступает на якорь двигателя  $M2$ .

Двигатель сматывает сварочную проволоку с катушки, проталкивает ее в канал шлангового держателя, и сварка начинается. Сварочный ток зависит от скорости подачи проволоки, которая обычно регулируется в диапазоне от 0,1 до 10...15 м/мин.

Каждому выходному напряжению источника соответствует определенный ток, а следовательно, и скорость подачи проволоки, для которой возможно получение устойчивого процесса горения дуги.

Скорость подачи зависит от напряжения, приложенного к якору двигателя  $M2$ , которое регулируется при помощи блока управления  $A1$ .

Рассмотрим схему типового блока фазового управления тиристорами (БФУТ), который используется для регулировки сварочного напряжения, а также для регулировки скорости подачи сварочной проволоки. На рисунке 7.3 изображена схема БФУТ на однопереходном транзисторе  $VT3$ .

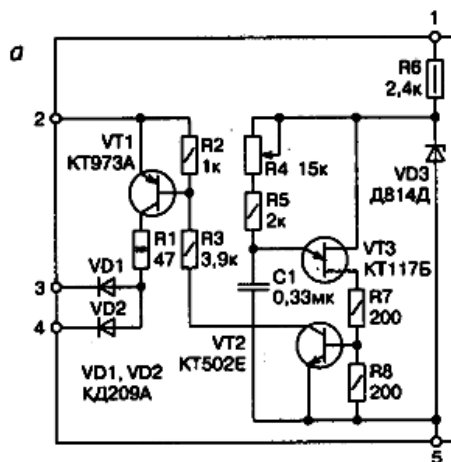


Рисунок 7.3 – Схема блока фазового управления тиристорами

Питание блока осуществляется выпрямленным, но не сглаженным напряжением 24 В, которое прикладывается между выводами 1, 5. С помощью параметрического стабилизатора  $R6$ ,  $VD3$ , из выпрямленного напряжения формируются трапецеидальные импульсы амплитудой 12 В. Эти импульсы служат для питания и синхронизации с сетью релаксационного генератора, собранного на элементах  $R4$ ,  $R5$ ,  $R7$ ,  $R8$ ,  $C1$ ,  $VT3$ .

В конце каждого полупериода сети благодаря паузе синхронизирующего трапецеидального напряжения конденсатор  $C1$  разряжается через  $VT3$ . Величиной резистора  $R4$  можно изменять время зарядки конденсатора  $C1$ , а следовательно, и задержку (фазовый сдвиг) формирования выходного импульса генератора относительно синхронизирующего напряжения.

После того как напряжение на конденсаторе  $C1$  достигнет порога срабатывания транзистора  $VT3$ , последний откроется. Конденсатор разрядится по цепи  $C1$ ,  $VT3$ ,  $R7$ ,  $R8$  и переход база – эмиттер транзистора  $VT2$ ,  $C1$ .

Транзистор  $VT2$  откроется и, в свою очередь, откроет транзистор  $VT1$ .

С вывода 2 БФУТ через открытый транзистор  $VT1$ , резистор  $R1$  и диоды  $VD1$ ,  $VD2$  напряжение управления поступит на управляющие электроды тиристоров управляемого выпрямителя.

В отличие от источника, описанного ранее, на тиристорах управляемого выпрямителя рассеивается незначительная мощность, что облегчает температурный режим всего устройства, а также увеличивает его надежность. Так как сварочное напряжение включается/выключается при помощи

управляемого выпрямителя  $VD7$ ,  $VD8$ ,  $VS3$ ,  $VS4$ , то не требуется использование специального электромагнитного пускателя, что также благоприятно сказывается на общей надежности источника.

Сварочный процесс продолжается до тех пор, пока нажата кнопка  $S2$  на сварочном держателе. Чтобы прекратить сварку, нужно отпустить кнопку  $S2$ . В этом случае контакты кнопки размыкаются и обесточивают катушку реле  $K1$ . Реле  $K1$  своими контактами  $K1.1$ ,  $K1.2$  и  $K1.3$  отключает подачу проволоки, выходное напряжение источника и газовый клапан. Чтобы предотвратить инерционное вращение двигателя подачи после снятия напряжения, его якорная цепь закорачивается нормально замкнутым контактом  $K1.1$ .

#### *7.1.5 Выбор элементов.*

Диоды  $VD7$ ,  $VD8$  типа Д151-125 и тиристоры  $VS3$ ,  $VS4$  типа Т161-160 устанавливаются на стандартные алюминиевые радиаторы типа О151 или на любые другие, имеющие площадь 250...300 см<sup>2</sup>.

Диод  $VD10$  типа Д112-25 устанавливается на радиаторе типа О111 или любом другом, имеющем площадь 100...150 см<sup>2</sup>.

В качестве трансформатора  $T2$  можно использовать любой трансформатор 220/27 В мощностью 150...200 ВА, например, готовый трансформатор типа ОСМ-0,16.

Реле  $K1$  – типа РП21 или аналогичное, с катушкой на 24 В постоянного тока.

В качестве двигателя  $M2$  подающего механизма можно использовать любой двигатель мощностью 60...100 Вт на напряжение 24 В, например, двигатель от привода стеклоочистителя автомобиля КамАЗ.

## **7.2 Порядок выполнения работы**

- 1 Выполнить задание по варианту, предложенному преподавателем.
- 2 Рассчитать конструкцию сварочного трансформатора и дросселя.
- 3 Изучить работу схемы электрической принципиальной сварочного полуавтомата.
- 4 Осуществить выбор элементов электрической схемы.
- 5 Сделать выводы по результатам расчетов.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Опишите конструкцию, характеристики и принцип действия сварочного трансформатора для механизированной дуговой сварки.
- 2 Опишите последовательность расчета сварочного трансформатора и сглаживающего дросселя.
- 3 Поясните работу схемы электрической принципиальной сварочного источника для механизированной сварки.
- 4 Как осуществляется выбор элементов электрической схемы?

## 8 Практическое занятие № 8. Расчет и выбор элементов электрической схемы сварочных автоматов для дуговой сварки

**Цель работы:** рассчитать параметры режимов автоматической сварки под флюсом и элементы электрической схемы сварочных автоматов.

### 8.1 Расчет параметров режима автоматической сварки под флюсом

Рассчитываем параметры режима автоматической сварки под флюсом двухстороннего стыкового шва на флюсовой подушке типа С4 по ГОСТ 8713–79 (рисунок 8.1).

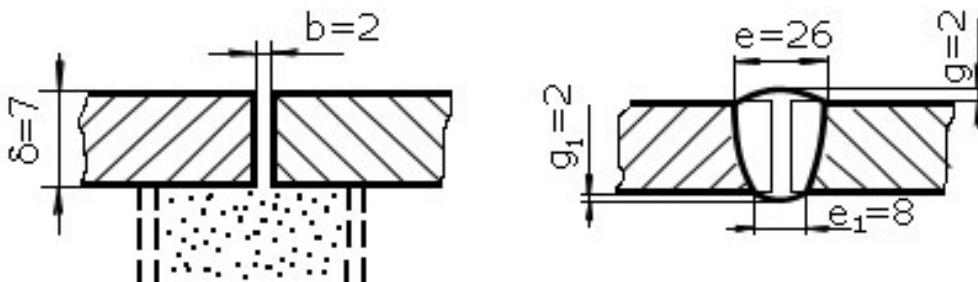


Рисунок 8.1 – Эскиз сварного соединения

Сначала задается диаметр сварочной проволоки  $d_э$ . Диаметр сварочной проволоки ориентировочно может быть выбран по установленному значению сварочного тока и допустимой плотности тока в электроде  $J_э$ , обеспечивающей максимальную производительность при отсутствии перегрева проволоки:

$$d_э = 1,13 \sqrt{\frac{I_д}{J_э}}. \quad (8.1)$$

Для стального электрода рекомендуемая плотность тока  $J_э = 40...160 \text{ А/мм}^2$ . Диаметр электрода принимаем ориентировочно  $d_э = 4 \text{ мм}$ .

Глубина проплавления зависит от толщины металла и условий сварки:

– для стыковых односторонних швов глубина проплавления равна толщине свариваемого металла:  $H_{ПР} = \delta$ ;

– для стыковых двухсторонних швов:  $H_{ПР} = 0,6\delta$ ;

– для стыковых швов на остающейся подкладке:  $H_{ПР} = \delta + 1 \text{ мм}$ ;

Для сварки под флюсом сила сварочного тока рассчитывается по формуле

$$I_{св} = \frac{H_{ПР}}{k_{П}} \cdot 100 = \frac{7}{1,1} \cdot 100 = 640 \text{ А}. \quad (8.2)$$

Коэффициент пропорциональности  $k_{\Pi}$ , зависящий от условий сварки, представлен в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Значения коэффициента  $k_{\Pi}$

Способ сварки	Диаметр электродной проволоки, мм	Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
Под флюсом	2	1,25	1,15	1,40
	3	1,10	0,95	1,25
	4	1,00	0,90	1,10
	5	0,95	0,85	1,05
	6	0,90	–	–

Площадь наплавленного металла  $F_H$  определяется по следующей формуле (см. рисунок 8.1):

$$F_H = F_3 + F_B + F_P = bH_{\Pi P} + \frac{3}{4} \cdot e \cdot g + \frac{3}{4} \cdot e_1 \cdot g_1 = 27 + \frac{3}{4} \cdot 26 \cdot 2 + \frac{3}{4} \cdot 8 \cdot 2 = 65 \text{ мм}^2. \quad (8.3)$$

Для сварки под флюсом на токах до 1000 А напряжение на дуге

$$U_D = 19 + 0,037 \cdot I_{CB} = 19 + 0,037 \cdot 640 = 43 \text{ В}. \quad (8.4)$$

Скорость сварки  $V_{CB}$  вычисляем по следующей формуле:

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{\gamma \cdot F_H \cdot 100} = \frac{14 \cdot 640}{7,8 \cdot 0,65 \cdot 100} = 17,7 \text{ м/ч}. \quad (8.5)$$

Коэффициент наплавки для сварки под флюсом  $\alpha_H = (13 \dots 16) \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$ .

Скорость подачи сварочной проволоки  $V_{\Pi P}$ , м/ч

$$V_{\Pi P} = \frac{4\alpha_P \cdot I_{CB}}{\pi \cdot d_{\Pi P}^2 \cdot \rho}, \quad (8.6)$$

где  $\rho$  – плотность металла  $\text{г}/\text{см}^3$ , для стали Ст3  $\rho = 7,8 \text{ г}/\text{см}^3$ ;

$\alpha_P$  – коэффициент расплавления сварочной проволоки,

$$\alpha_P = 2 + \sqrt{\frac{I_{CB}}{d_{\Pi P}}} = 2 + \sqrt{\frac{640}{4}} = 14,65 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч}); \quad (8.7)$$

$$V_{\Pi P} = \frac{4 \cdot 14,65 \cdot 640}{3,14 \cdot 4^2 \cdot 7,8} = 95,65 \text{ м/ч}.$$

Коэффициент расплавления  $\alpha_p$  электродной проволоки можно определить по графику на рисунке 8.2.

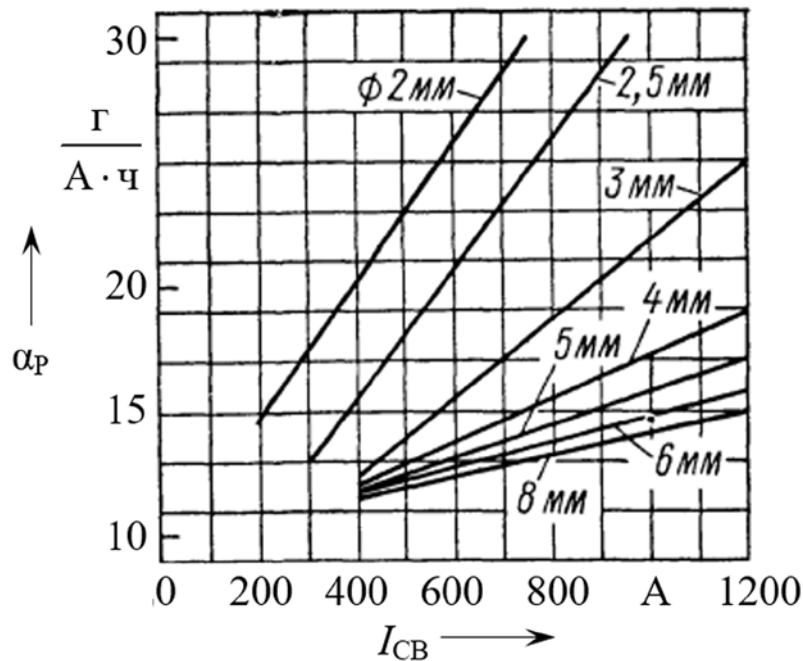


Рисунок 8.2 – Зависимость коэффициента расплавления  $\alpha_p$  от величины сварочного тока и диаметра электродной проволоки

Ориентировочные режимы автоматической сварки под флюсом углеродистых и низколегированных сталей представлены в таблице 8.2, коррозионно-стойких сталей – в таблице 8.3.

Таблица 8.2 – Режимы автоматической сварки под флюсом углеродистых и низколегированных сталей

Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Количество проходов в шве	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм
30	4	4	650...750	28...32	87...95	18...22	35...40
50	4,5	8	800...850	30...32	87...95	18...22	35...40
>60	5	10...15	900...950	38...40	100...110	18...22	35...40

Таблица 8.3 – Режимы автоматической сварки под флюсом коррозионно-стойких сталей

Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Количество проходов в шве	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм
30	4	6	400...450	28...32	87...95	18...30	35...40
50	4	10	525...600	30...32	87...95	18...30	35...40
>60	5	12...18	700...750	38...40	100...110	18...30	35...40

## 8.2 Расчет механизма подачи сварочной проволоки

Подача электродной проволоки в автоматах дуговой сварки осуществляется протягиванием (проталкиванием) её между вращающимися роликами, прижатыми к проволоке. Существуют механизмы со ступенчатым и плавным регулированием скорости подачи. В первом случае редуктор снабжен набором сменных шестерен, а во втором используется электродвигатель постоянного тока с регулируемым числом оборотов. Скорость подачи электродной проволоки может быть рассчитана по формуле:

$$V_{\text{ПР}} = \frac{d_{\text{Р}}}{5,3} \cdot \frac{n_{\text{ДВ}}}{i}, \quad (8.8)$$

где  $d_{\text{Р}}$  – расчетный диаметр падающего ролика, мм;

$n_{\text{ДВ}}$  – число оборотов двигателя, об/мин;

$i$  – передаточное число редуктора.

В формуле (8.8) две неизвестные величины: диаметр падающего ролика  $d_{\text{Р}}$  и передаточное отношение  $i$  механизма подачи проволоки. Поэтому целесообразно воспользоваться формулой (8.6), где скорость подачи проволоки находится в зависимости от требуемых режимов сварки.

Расчетный диаметр подающего ролика  $d_{\text{Р}}$ , мм, определим по формуле

$$d_{\text{Р}} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot V_{\text{ПР}}}{\pi \cdot n_{\text{ДВ}}}. \quad (8.9)$$

В современных сварочных аппаратах диаметр падающих роликов принят равным 30...40 мм [4].

Наиболее ответственной частью механизма подачи проволоки является роликовое устройство. Используют механизмы, состоящие из одной или двух пар падающих роликов. Тип механизма определяется видом подаваемой проволоки и материалом: сплошного сечения или порошковая; стальная или алюминиевая. Основными параметрами механизма являются усилие прижатие роликов к проволоке, жесткость упругого элемента, диаметр роликов и форма их рабочих поверхностей, контактирующих с проволокой.

Форма рабочей поверхности падающего ролика может быть гладкой цилиндрической, цилиндрической с канавкой, цилиндрической с насечкой, цилиндрической с канавкой и насечкой, шестеренчатой, обрешиненной. Выбор той или иной рабочей поверхности ролика зависит от диаметра проволоки её вида сопротивления движению.

Проволока при ее подаче в автоматах встречает сопротивление при прохождении через правильный механизм и токоподвод. Принято, что максимум результирующего касательного усилия протягивания проволоки пропорционален усилию прижатия падающих роликов к электродной проволоке.



$$F \sim \psi N, \quad (8.10)$$

где  $F$  – тяговое усилие, Н;

$\psi$  – коэффициент сцепления роликов с проволокой;

$N$  – усилие прижатия роликов.

Условие нормальной работы подающего механизма можно записать в виде

$$T_s < W, \quad (8.11)$$

где  $T_s$  – текущее значение подающего усилия, Н

$W$  – усилие сопротивления подаче проволоки, Н.

Зная усилие сопротивления подачи и коэффициент сцепления, можно получить необходимое усилие поджатия роликов к проволоке, а значит, и определить параметры упругого элемента механизма поджатия. Усилие сопротивления подаче – величина, зависящая от многих факторов и изменяющаяся в процессе работы в широких пределах. На основании имеющихся опытных данных ее максимальное значение для автоматов дуговой сварки принимают в пределах 200...300 Н.

Коэффициент сцепления подающих роликов с электродной проволокой в общем случае – величина, не тождественная коэффициенту трения скольжения. Установлено, что для данного материала и состояния контактных поверхностей при небольшом диапазоне изменения усилия поджатия роликов его значение существенно зависит от скорости подачи (рисунок 8.3, а) и усилия сопротивления подаче (рисунок 8.3, б). Закономерности влияния на коэффициент сцепления материала ролика и состояния контактной поверхности проволоки показаны соответственно на рисунке 8.3, в, г.

Коэффициент сцепления подающего ролика с электродной проволокой зависит от скорости подачи. Для нормальных условий с увеличением скорости подачи сцепление ролика с проволокой ухудшается, коэффициент сцепления стремится к своему предельному значению (для гладких подающих роликов  $\psi = 0,2$ ).

Для проволоки, имеющей несистематические дефекты на поверхности, реализуемый коэффициент сцепления снижается:  $\psi = 0,1$ .

Коэффициент сцепления может быть повышен за счет конструкции роликов. Они могут быть выполнены цилиндрическими с насечкой, с канавкой и насечкой, шестеренчатыми с канавкой в зубьях шестерен, обрешиненными и т. д. Подающее усилие может быть повышено также применением нескольких ведущих роликов (пары или более). Обычно подающие ролики изготавливаются из термообработанной до HRC 56...60 стали ХВГ, ХГ, 40Х или ШХ15.

Сила подачи проволоки характеризуется зависимостью вида

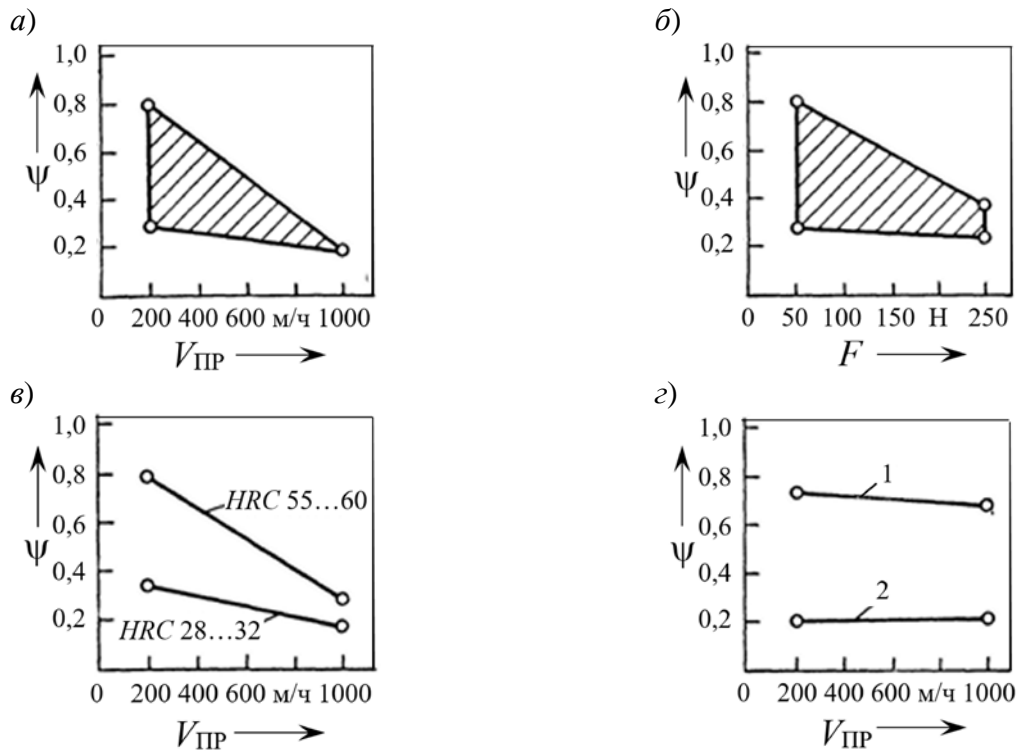
$$M = \frac{FD}{2} = f(V_{\text{пр}}), \quad (8.12)$$

где  $M$  – крутящий момент на ролике, Н·м;

$F$  – усилие на ролике, Н;

$D$  – диаметр ролика, м;

$V_{\text{ПР}}$  – скорость подачи проволоки, м/с.



$a$  – от скорости подачи;  $b$  – от усилия сопротивления подаче;  $v$  – от материала ролика;  $z$  – от состояния поверхности проволоки (1 – проволока с нормальной поверхностью; 2 – проволока с дефектной поверхностью)

Рисунок 8.3 – Зависимость коэффициента сцепления

Характеристикой данной зависимости является ее жесткость

$$X_F = -\frac{1}{F_0} \cdot \frac{dF}{dV_{\text{ПР}}}, \quad (8.13)$$

где  $F_0$  – усилие подачи в начале процесса, этот параметр определяет уменьшение подающего усилия с ростом скорости подачи.

По аналогии формально вводят в рассмотрение параметр, определяющий уменьшение коэффициента сцепления при увеличении скорости подачи, – удельную жесткость характеристик сцепления

$$S_t = -\frac{1}{\psi_0} \cdot \frac{d\psi}{dV_{\text{ПР}}}, \quad (8.14)$$

где  $\psi_0$  – реализуемый коэффициент сцепления в начальный момент.

Обе характеристики имеют размерность, обратную размерности скорости подачи. Они могут быть получены экспериментальным путем. Причем  $X_F$  можно рассчитать для данного типа двигателя. Сравнение обеих характеристик позволяет судить о том, в какой степени правомерно принимать расчетное значение  $N$  в качестве оптимального. Если динамическая жесткость характеристики усилия подачи  $X_F$  близка к удельной жесткости характеристики сцепления  $S_t$ , то переменная составляющая  $N$  близка к постоянной составляющей. В противном случае нужно увеличить нагрузку.

Важным параметром подающего механизма является жесткость прижимной пружины. Она существенно влияет на процесс сцепления ролика с проволокой. Установлено, что роликовый механизм без упругого элемента неработоспособен. Увеличение удельной жесткости упругого элемента приводит к значительным колебаниям усилия и скорости подачи в тяжелонагруженных режимах. Для улучшения условий подачи следует использовать упругие элементы с невысокой удельной жесткостью на заданном уровне нагрузки. Желательно предусмотреть в конструкции элементы, ограничивающие значение прикладываемой нагрузки на уровне, соответствующем реализуемому коэффициенту сцепления. Выбор оптимальных значений усилия прижатия ролика, жесткости упругого элемента позволяет:

- повысить надежность подачи проволоки без проскальзывания и расширить область применения гладких роликов;
- снизить нагрузку на элементы конструкции и повысить долговечность механизма;
- повысить КПД и улучшить стабильность подачи.

### ***8.3 Расчет мощности на валу двигателя подачи сварочной проволоки***

Первым наиболее существенным требованием, предъявляемым к конструкции подающей системы, является значение тягового усилия, подающего электродную проволоку в зону дуги. В соответствии с требованиями ГОСТ 18130–79 тяговые усилия подающих механизмов аппаратов дуговой сварки с толкающей системой подачи электродной проволоки должны составлять 100 Н – для стальных проволок диаметром до 1,4 мм и алюминиевых проволок всех диаметров, 200 Н – для стальных проволок диаметром 1,6...3,0 мм. При выборе мощности на валу двигателя нужно учитывать следующие составляющие:

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{пр}} + P_{\text{пт}} + P_{\text{пс}} + P_{\text{пп}}, \quad (8.15)$$

- где  $P_{\text{пр}}$  – потери мощности в редукторе;  
 $P_{\text{пт}}$  – потери на трение и подающих роликах;  
 $P_{\text{пс}}$  – потери мощности на сматывание проволоки с бухты;  
 $P_{\text{пп}}$  – потери на проталкивание проволоки по шлангу.

Значения  $P_{ПТ}$  и  $P_{ПС}$  (при бухте с проволокой массой 25 кг) по экспериментальным данным составляют по 5 Вт. Максимальная мощность, расходуемая на проталкивание проволоки со скоростью 960 м/ч,

$$P_{П.П} = F \cdot V_{ПР} = 200 \cdot 0,27 = 54 \text{ Вт}, \quad (8.16)$$

где  $F$  – тяговое усилие, Н;

$V_{ПР}$  – скорость подачи проволоки, м/с.

Измеренный КПД редуктора подающего устройства на номинальной частоте вращения двигателя серии КПА составил 0,72. Следовательно, мощность на валу двигателя

$$P_{ДВ} = \frac{P_{ПТ} + P_{ПС} + P_{П.П}}{\eta_p} = \frac{5 + 5 + 54}{0,72} = 90 \text{ Вт}, \quad (8.17)$$

откуда потери мощности в редукторе

$$P_{ПР} = P_{ДВ} - P_{ПТ} - P_{ПС} - P_{П.П} = 90 - 64 = 26 \text{ Вт}. \quad (8.18)$$

Вторым важнейшим требованием к системе подачи является стабильность скорости подачи электродной проволоки. В современных сварочных автоматах применяются системы автоматического регулирования частоты вращения двигателя, обеспечивающие изменение скорости подачи проволоки не более 10 % при изменении напряжения питающей сети в пределах от + 5 % до – 10 % номинального значения и одновременном изменении нагрузки двигателя от 0,2  $I_{НОМ}$  до  $I_{НОМ}$ . При этом обеспечивается кратность плавного регулирования скорости подачи проволоки не менее 8 (с учетом разброса номинальной частоты вращения конкретных экземпляров двигателей).

Причинами колебаний скорости подачи электродной проволоки в системах подачи являются многие факторы, в том числе и зависящие от принципа подачи и конструктивных особенностей системы. Из-за наличия сопротивления трения между проволокой и стенками направляющего канала проволока изгибается, и чем больше сопротивление трения, тем чаще становятся циклы изгиба. При увеличении нагрузки в осевом направлении сопротивление трения растет по экспоненциальной зависимости:

$$T_1 = T_2 e^{\mu \Theta}, \quad (8.19)$$

где  $T_2$  – сила сопротивления в прямом направляющем канале;

$\mu$  – коэффициент трения;

$\Theta$  – угол закручивания направляющего канала.

Отсюда следует, что сила сопротивления при скручивании канала резко возрастает и подача проволоки может прекратиться.

Колебания скорости подачи электродной проволоки могут также вызываться сплавлением (прихватыванием) проволоки в токоподводящем наконечнике в результате уменьшения точек соприкосновения, следовательно, увеличения плотности тока в точках контакта. Явление сплавления резко увеличивает сопротивление прохождению проволоки, и если кабель направляющего канала подвержен значительным удлинениям при растяжении, т. е. имеет недостаточную продольную жесткость, то при срыве точек сплавления происходит увеличение скорости подачи, приводящее к нарушению режима.

Для уменьшения влияния этих факторов применяют удлиненный наконечник с длиной контактирующей части около 40 мм и соотношением диаметров электродной проволоки и внутренних диаметров наконечника, указанным в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – Соотношение диаметров электродных проволок и внутренних диаметров наконечников

Диаметр электродной проволоки, мм	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,5	3,0
Внутренний диаметр наконечника, мм	0,9	1,2	1,4	1,6	1,8	2,3	2,8	3,3

В процессе эксплуатации необходимо иметь в виду, что с загрязнением направляющего канала быстро растут усилия сопротивления подаче. В конечном счёте загрязнение может привести к прекращению подачи.

#### **8.4 Расчет токоподводящих устройств**

Процесс токосъема неразрывно связан с износом контактирующих поверхностей. Работа и износ контактных частей зависят от внешних условий и свойств используемых материалов. Процесс износа можно рассматривать как механический и электромеханический.

Механический износ вызывается контактным давлением, выражается в механическом переносе частиц материала токоподвода на электродную проволоку. На механический износ решающее влияние оказывают твердость материалов, контактное давление и прочность материала на сдвиг. При увеличении контактного давления до некоторого критического значения  $q_{кр}$  износ практически мало меняется, далее же пластическое деформирование контактирующей поверхности заменяется резанием, в результате чего на поверхности появляются задиры – износ резко возрастает. Для большинства материалов, применяемых в токоподводящих устройствах (медь М1, М2, М3 или МЦ, бронза марок БрАЖ9-4, БрХ-08, БрБ-2), удельное критическое давление лежит в пределах 0,8...1,0 МПа.

Электромеханический износ вызывается мостиковой, дуговой и искровой эрозией, дуговой коррозией и горячим свариванием. Он тем выше, чем выше

плотность тока и меньше стабильность контакта. Рассматривая процесс токосяема в сварочных устройствах, нужно иметь в виду его специфические особенности:

- наличие силы трения дополнительно к контактному давлению, воздействующей на контактные слои и на токопередающий механизм;
- непрерывные упругопластические деформации контактных поверхностей и пульсации контактного давления вследствие действия различных факторов;
- возможность несовпадения мест механического и электрического контакта на скользящей поверхности из-за неравномерного распределения нагрузки;
- неустойчивое тепловое состояние в контактных точках в результате их перемещения по контактными поверхностям;
- разрушение и удаление продуктов износа трением вследствие перемещения контактных поверхностей;
- большую чувствительность скользящего токосяема к внешним виброударным воздействиям;
- уменьшенную вероятность слипания и сваривания контактирующих поверхностей, но повышенную склонность к электромеханическому разрушению.

Для того чтобы объективно устанавливать и поддерживать в заданных пределах оптимальные условия токосяема, достаточно правильно выбрать значение контактного давления и предусмотреть конструктивные меры по его заданию и ограничению.

Контактное давление  $P_K$  является весьма важным параметром токоподвода. При его выборе нужно иметь в виду, что как чрезмерное его увеличение, так и уменьшение резко снижают надежность работы токоподвода. При увеличении контактного давления уменьшается сопротивление переходной зоны и улучшается прилегание проволоки к вкладышу, но увеличивается механический износ; при уменьшении контактного давления уменьшается механический износ, но увеличивается сопротивление переходной зоны, ухудшается прилегание проволоки к вкладышу – возрастает электромеханический износ. Контактное давление должно быть выбрано оптимальным и поддерживаться на заданном уровне с определенной точностью.

Так как стабильность контактного давления зависит в основном от удельной жесткости, то последняя должна быть невысокой – около 10 % от уровня номинальной нагрузки. Наиболее компактными по конструкции и удобными в работе являются упругие элементы с нелинейной характеристикой жесткости.

Верхний предел контактного давления, определяемый по допустимому критическому давлению, для материалов контактных вкладышей и стандартной электродной проволоки должен лежать в диапазоне  $q_{кр} \leq 0,8 \dots 1,0$  Мпа.

Нижний предел определяется допустимым сопротивлением переходной зоны  $R_{\Pi}$  и может быть рассчитан для принятого материала контактного вкладыша по формуле

$$P_{\text{кр}} = \rho \frac{\sqrt{H_B \cdot c}}{0,2R_{\Pi}}, \quad (8.20)$$

где  $c$  – коэффициент, зависящий от качества обработки и состояния контактных поверхностей и находящийся в пределах 1,5...3,0;

$H_B$  – твердость материала контактного вкладыша по Бринеллю;

$R_{\Pi}$  – допустимое сопротивление переходной зоны, Ом;

$\rho$  – удельное сопротивление материала контактирующих поверхностей, большее по абсолютному значению удельного сопротивления материала проволоки или токоподвода, Ом·см.

Основной путь решения проблемы улучшения токосъема – это совершенствование конструкции токоподводов, подбор оптимальных статических характеристик. Совершенствование токоподводов идет, как правило, в направлении создания более сложных конструкций.

### **8.5 Порядок выполнения работы**

- 1 Выполнить задание по варианту, предложенному преподавателем.
- 2 Рассчитать параметры режима автоматической сварки под флюсом.
- 3 Рассчитать механизм подачи сварочной проволоки.
- 4 Рассчитать мощность на валу двигателя подачи сварочной проволоки.
- 5 Рассчитать значение контактного давления и выбрать токоподводящее устройство.
- 6 Сделать выводы по результатам расчетов.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Опишите сущность автоматической сварки под флюсом.
- 2 Назовите параметры режима автоматической сварки под флюсом.
- 3 Какие требования предъявляются к конструкциям подающих систем?
- 4 Опишите последовательность расчета механизма подачи сварочной проволоки.
- 5 Опишите порядок расчета мощности на валу двигателя подачи сварочной проволоки.
- 6 Опишите порядок расчета токоподводящих устройств.
- 7 Какие основные пути решения проблемы улучшения токосъема существуют?

## 9 Практическое занятие № 9. Расчет и выбор элементов электрической схемы аппаратов для аргодуговой сварки неплавящимся электродом

**Цель работы:** научиться выбирать параметры режима и оборудование для дуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом.

### 9.1 Общие теоретические сведения

Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе TIG (Tungsten Inert Gas) использует тепло, образующееся при горении электрической дуги между электродом и основным металлом (рисунок 9.1). Вольфрамовый электрод закрепляется в токопроводящем устройстве горелки, к которой по шлангам подводятся токоведущий провод и защитный инертный газ. Истекающая из сопла горелки струя аргона отесняет воздух и надежно защищает электрод, дугу, сварочную ванну и околошовную зону от окисления и азотирования. Для заполнения шва в дугу подается присадочная проволока, как правило, того же или близкого состава, что и свариваемый металл.

Процесс сварки вольфрамовым электродом в защитном газе в настоящее время широко встречается под аббревиатурой TIG, но иногда встречается обозначение GTAW (Gas Tungsten Arc Wolfram).

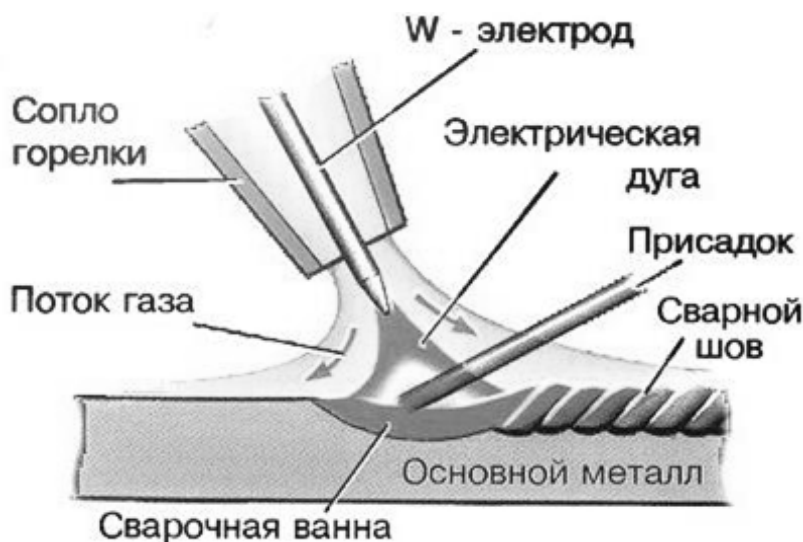


Рисунок 9.1 – Схема сварки неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе

Преимущество GTAW-процесса заключается в том, что им можно сваривать большое количество металлов и сплавов. TIG-сварка позволяет сваривать сталь, в том числе нержавеющую, титан, алюминиевые и магниевые сплавы, медь, бронзу. При сварке GTAW-процессом отсутствует перенос расплавленного металла через дуговой промежуток. Это облегчает условия горения дуги и обуславливает ее высокую стабильность.



Присадочный металл по мере необходимости подается в головную часть сварочной ванны. В отличие от сварки плавящимся электродом скорость плавления присадочного металла не связана жесткой зависимостью с величиной сварочного тока. Количество присадочного металла, подаваемого в ванну, выбирают из условия обеспечения требуемой доли участия присадочного металла в образовании шва.

К недостаткам GTAW-процесса по сравнению со сваркой покрытым электродом относится необходимость применения дополнительных защитных мер против световой и тепловой радиации дуги. Из-за отсутствия дыма и более высокой температуры дуги излучение более сильное, имеющее сдвиг в ультрафиолетовую область, что, в свою очередь, вызывает образование озона и оксидов азота.

При TIG-сварке необходима улучшенная защита сварщика от ожогов и излучения. Сварочная маска комплектуется светофильтром повышенной плотности. При сварке в стесненных условиях необходимо обеспечить достаточную вентиляцию или подачу чистого воздуха в сварочную маску.

Основной недостаток – невысокая производительность из-за сравнительно низкой тепловой эффективности процесса, поскольку значительная часть энергии источника расходуется на нагрев неплавящегося электрода.

## 9.2 Требования к источнику питания

Требования к источнику питания зависят от марки и толщины свариваемого металла и определяются родом сварочного тока (постоянный, переменный) и характером его модуляции (непрерывный, импульсный униполярный, импульсный разнополярный).

**Источник постоянного тока** (рисунок 9.2) рекомендуется для сварки материалов малой и средней толщины за исключением алюминиевых сплавов.

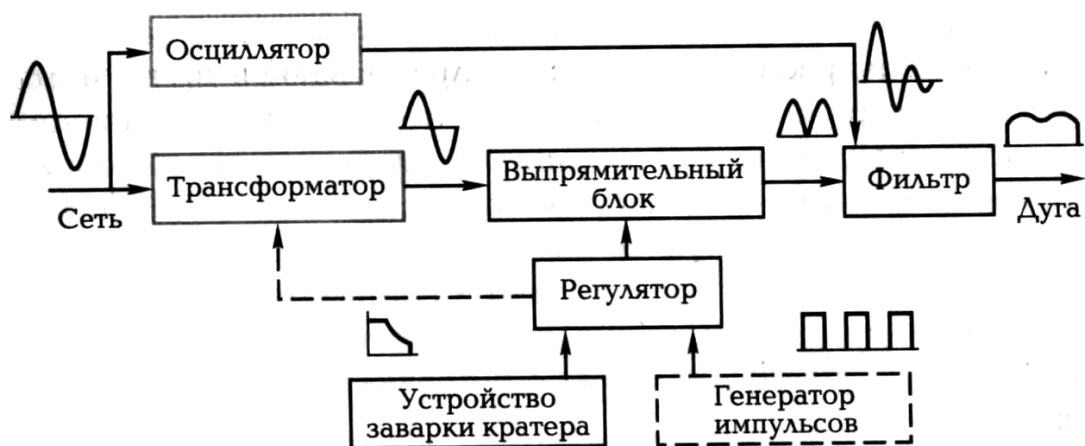


Рисунок 9.2 – Функциональная схема источника питания постоянного тока для аргонодуговой сварки

Сварка выполняется, как правило, дугой прямой полярности (минус на электроде). В сравнении с дугой обратной полярности здесь более благоприятное распределение тепла дуги, поскольку большая его часть идет в анод – свариваемое изделие. Это позволяет увеличить токовую нагрузку на электрод и, следовательно, поднять производительность. Источник питания представляет собой выпрямитель, состоящий из трансформатора и выпрямительного блока на тиристорах, или транзисторный инверторный выпрямитель.

Внешняя характеристика источника питания должна быть падающей с напряжением холостого хода от 50 до 100 В. При этом обеспечивается устойчивость процесса сварки и стабильность тока при колебаниях длины дуги, что особенно важно при малой толщине изделия. Характеристика условной рабочей нагрузки соответствует уравнению  $U_p = 10 + 0,04I_d$ . Регулирование тока должно быть плавным с очень высокой кратностью 5...100. Это необходимо для обеспечения снижения тока при заварке кратера или при мягком пуске.

Управление циклом сварки с помощью кнопки на горелке может выполняться в двух вариантах – с двух- и четырехтактным циклом – и выбирается в зависимости от способа зажигания дуги.

При двухтактном цикле начальное зажигание дуги выполняется бесконтактным высокочастотным способом (HF) в течение не более 1 с. Бесконтактное возбуждение дуги происходит в результате пробоя межэлектродного пространства с помощью высоковольтного высокочастотного генератора – осциллятора – и последующего развития дуги с питанием от основного источника. Защита основного источника от высокого напряжения осциллятора осуществляется с помощью фильтра высоких частот.

При двухтактном цикле, когда нажимают кнопку (стрелка вниз), последовательно проходят этапы предварительной подачи газа, бесконтактного зажигания дуги (HF), нарастания тока и собственно сварки, а для завершения цикла кнопку отпускают (стрелка вверх), в результате установка переходит к этапам снижения тока и последующей подачи газа. Такой цикл предпочтителен при сварке коротких швов (рисунок 9.3).

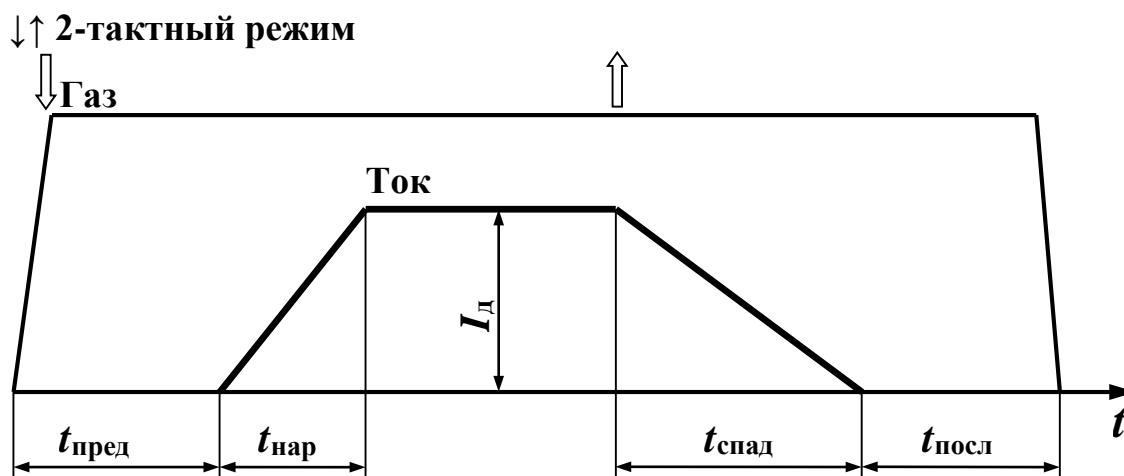


Рисунок 9.3 – Двухтактный цикл аргонодуговой сварки

Предварительная подача газа до сварки выполняется в течение времени  $t_{\text{пред}} = 0,5 \dots 1$  с для облегчения возбуждения дуги и защиты начала шва. Плавное нарастание основного тока в интервале  $t_{\text{нар}}$  обеспечивает постепенный нагрев электрода и предотвращает начальный выплеск сварочной ванны. Далее в течение длительного времени идет сварка при заранее установленном токе  $I_{\text{д}}$ . Спад тока в течение  $t_{\text{спад}}$  до 20 с необходим для заварки кратера, этот интервал увеличивается при большой толщине свариваемых деталей и высоком токе. Последующая подача газа необходима для защиты шва в процессе кристаллизации, ее длительность  $t_{\text{посл}} = 2 \dots 25$  с зависит от размеров сварочной ванны.

При четырехтактном цикле начальное зажигание дуги выполняется контактным способом мягкого пуска (LiftArc). Программное управление последовательностью и длительностью включения отдельных устройств сварочной установки при четырехтактном цикле иллюстрируется циклограммой (рисунок 9.4).

Зажигание мягким пуском (LiftArc) выполняется следующим образом. После нажатия на кнопку следуют предварительная подача газа до сварки, зажигание и работа в режиме поисковой дуги, пока нажата кнопка. В момент начального короткого замыкания электрода на деталь ток ограничивается значением тока мягкого пуска  $I_{\text{мп}}$ , составляющим 10 %...30 % от сварочного. При таком токе происходит разогрев электрода без его повреждения и исключается недопустимое загрязнение шва вольфрамом. Длительность мягкого пуска  $t_{\text{мп}}$  не настраивается, а ограничивается прекращением контакта электрода с деталью и отпуском кнопки на горелке. После подъема электрода возникает маломощная дуга, затем ток постепенно увеличивается до настроенного значения  $I_{\text{д1}}$ . Затем идет длительная сварка до второго нажатия на кнопку, при котором начинается снижение тока для заварки кратера, а при отпуске кнопки следует подача газа после сварки. Такой цикл рекомендуется при выполнении длинных швов.

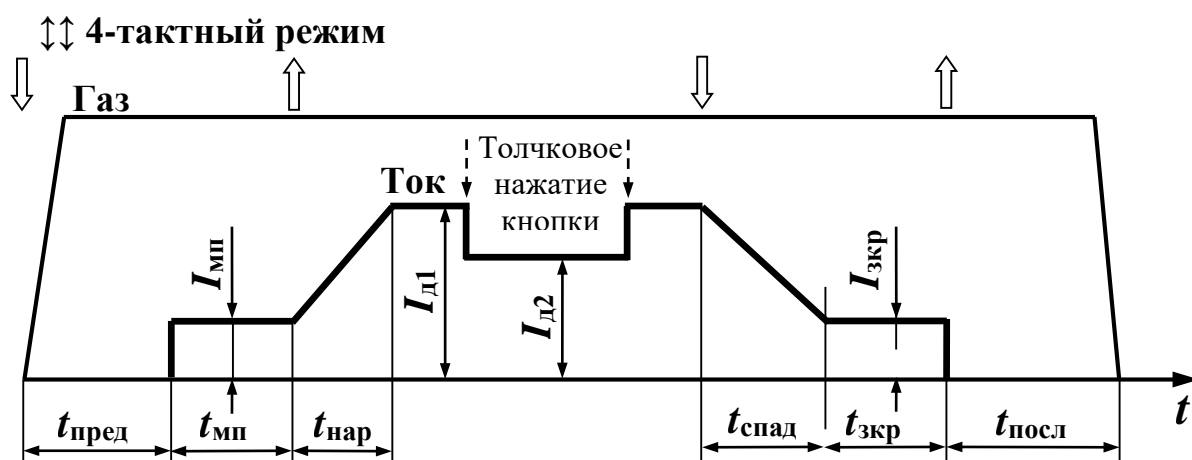


Рисунок 9.4 – Четырехтактный цикл аргонодуговой сварки

Циклограмма обеспечивает настройку двух уровней тока: сварочный ток (ток импульса)  $I_{д1}$  и базовый ток  $I_{д2}$ , например, в целях попеременной сварки то в нижнем, то в вертикальном положении. Переход от одного режима к другому осуществляется кратковременным толчковым нажатием кнопки на горелке.

Заварка кратера при сварке обеспечивается посредством плавного снижения тока в течение времени спада  $t_{спад}$  и установлением тока заварки кратера  $I_{зкр}$ . Длительность заварки кратера  $t_{зкр}$  не настраивается, а ограничивается отпуском кнопки на горелке.

Переменный сварочный ток необходим для TIG-сварки алюминия, сплавов на основе алюминия и других металлов, содержащих на поверхности жаропрочные оксиды. При аргонодуговой сварке на переменном токе происходит чередование между прямой и обратной полярностью сварочного тока в цикле. Прямая полярность используется для формирования сварочной ванны, тогда как обратная полярность служит для разрушения оксидной пленки и «очистки» свариваемых поверхностей. Баланс переменного тока позволяет перераспределить в цикле прямую и обратную полярность: увеличивая амплитуду обратной полярности (преобладание на электроде « + »), создают очищающий эффект; увеличивая амплитуду прямой полярности (преобладание на электроде « - »), создают проплавление металла.

В установках аргонодуговой сварки частота переменного тока может изменяться в диапазоне от 20 до 200 Гц. Повышение частоты тока приводит к увеличению концентрации дуги, увеличению эффекта балансировки импульса и сужению сварного шва. Таким образом, повышенная частота тока идеально подходит для сварки тонколистовых материалов и прецизионной сварки, а также способствует увеличению объема выпуска продукции при массовом производстве. Низкая частота переменного тока способствует большей передаче тепла к детали и формированию более широкой зоны сварки.

### 9.3 Порядок выполнения работы

1 Определить режимы сварки для заданной толщины свариваемого металла, настроить аппарат на требуемый режим и произвести сварку. Рекомендуемые режимы сварки приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Рекомендуемые режимы сварки вольфрамовым электродом

Толщина металла	Диаметр, мм		Сила тока, А
	вольфрамового электрода	присадочной проволоки	
1...2	2	1...2	50...70
4...6	3	2...3	100...130
4...6	4	3	160...180
6...10	5	3...4	220...300
11...15	6	4	280...360

2 При ручной дуговой сварке вольфрамовым электродом особое внимание требуется уделить технике сварки. Угол между присадочной проволокой и электродом должен быть примерно  $90^\circ$ . Присадка подается короткими возвратно-поступательными движениями. Недопустимы поперечные колебания вольфрамового электрода. Длина дуги – 1,5...2,5 мм. Вылет электрода от торца наконечника горелки – 1...1,5 мм. Сварку ведут обычно справа налево («левый» способ), чтобы снизить перегрев свариваемого металла. Расход аргона составляет 6...15 л/мин. Напряжение дуги при сварке в аргоне – 15...20 В. Присадочный металл выбирают в зависимости от марки сплава: для технического алюминия и сплавов типа АМг – проволоку марок АО, АД или АК; для низколегированных теплоустойчивых сталей марок 12ХМ, 15ХМ – проволоку Св08ХМФА, Св08ХГСМА; для сварки среднелегированных сталей марок 25ХГСА, 23Х2НВФА, 30ХГСНА – проволоки марок Св08Г2С, Св18ХМФА.

### ***Контрольные вопросы***

1 Основные требования к источникам для сварки неплавящимся электродом в инертном газе.

2 Принцип работы сварочных аппаратов для сварки неплавящимся электродом с источниками постоянного тока. Какие параметры режима сварки настраиваются для них?

3 Для сварки каких материалов используются источники переменного тока с разнополярными импульсами? Какие параметры режима сварки настраиваются для этих источников?

## **10 Практическое занятие № 10. Расчет и выбор элементов электрической схемы аппаратов для плазменной сварки и резки**

***Цель работы:*** научиться выбирать параметры режима и оборудование для плазменной сварки и резки.

### ***10.1 Общие теоретические сведения***

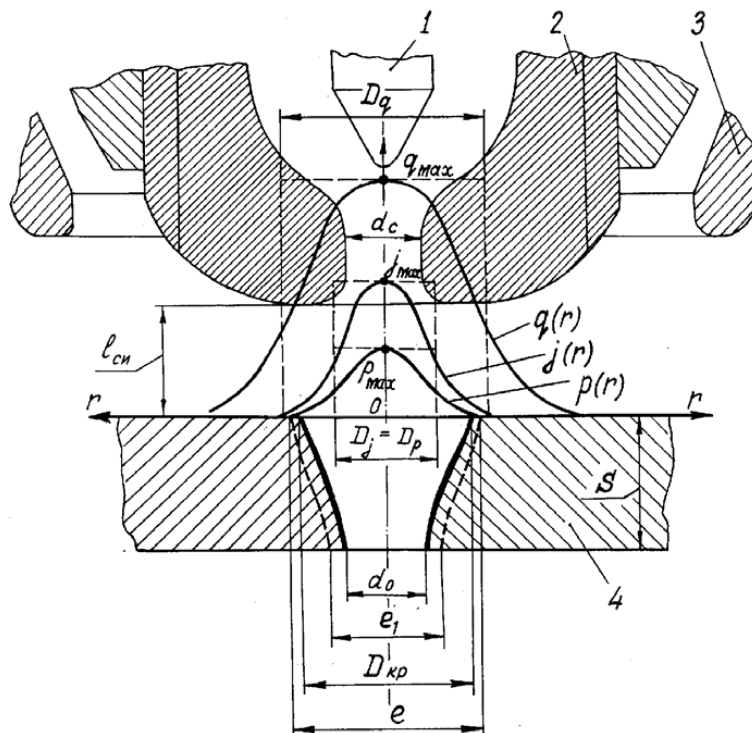
***10.1.1 Плазменная сварка.*** Сжатая дуга как источник тепловой энергии используется для различных технологических процессов: сварки, наплавки, поверхностного упрочнения, напыления покрытий, разделительной резки и др. Среди этих процессов особое положение занимает плазменная сварка, что объясняется следующим:

- сложностью протекающих процессов переноса теплоты и вещества, связанных с передачей энергии от сжатой дуги к металлу, и мощных гидродинамических потоков жидкого металла сварочной ванны;

- высоким уровнем тепловой и механической энергии сжатой дуги;

- большой гибкостью регулирования технологических характеристик сжатой дуги при плазменной сварке (током, скоростью сварки, расходом газа, геометрией сопла и т. д.), что, с одной стороны, повышает гибкость технологии, но, с другой стороны, усложняет выбор оптимальных режимов обработки;
- использованием присадочных материалов, которые, по меньшей мере, не должны ухудшать условия формирования сварного шва;
- возможностью получения непосредственно от сжатой дуги (как датчика) информации о ходе процесса.

**10.1.2 Выбор оптимальных режимов сварки.** Для выбора оптимальных режимов сварки необходимо построение физической и математической моделей, адекватно описывающих процессы при сварке. При выборе оптимальных режимов сварки первая задача – определение оптимального сечения шва. Для формы поперечного сечения шва при плазменной сварке проникающей дугой (рисунок 10.1) характерен сквозной провар, т. е. для заданной толщины листов  $s$  глубина провара остается практически постоянной, равной  $s$ . Ширина проплава  $e_1$  связана с шириной шва  $e$ , но для предупреждения прожогов  $e_1$  целесообразно поддерживать на минимально возможном уровне. Обычно, как показывают опыты,  $e_1$  не превышает 2,5...4 мм. Таким образом, сечение шва в основном определяется шириной  $e$  (при заданной толщине  $s$ ) и за его площадь при плазменной сварке можно принять площадь трапеции.



1 – электрод плазмотрона; 2 – плазмообразующее сопло; 3 – защитное сопло; 4 – свариваемое изделие

Рисунок 10.1 – Радиальное распределение плотности теплового потока  $q(r)$ , давления  $p(r)$ , плотности тока  $j(r)$  при плазменной сварке проникающей дугой

Увеличение концентрации ввода теплоты в изделие при плазменной сварке, т. е. рост  $q_{\max}$  и уменьшение  $D_q$ , возможно для используемого состава плазмообразующего газа прежде всего при увеличении отношения  $I_d/d_c$ . Однако вероятность образования аварийной двойной дуги требует ограничения тока для каждого диаметра сопла. С учетом условий плазменных сварочных процессов было получено соотношение

$$\frac{I_d}{d_c^{3/2}} = 37,$$

где  $I_d$  – ток дуги, в А;

$d_c$  – диаметр сопла, в мм.

Соотношение получено при совместном решении задачи поиска критических значений тока сжатой дуги, выше которых резко увеличивается вероятность образования аварийной двойной дуги. В диапазоне диаметров плазмообразующего сопла  $d_c = 1,6 \dots 6$  мм можно воспользоваться следующими упрощенными зависимостями:

$$I_d \leq 100 \cdot (-1);$$

$$G_{\text{пр}} \geq 0,12 \cdot (1 + d_c^2),$$

где  $G_{\text{пр}}$  – расход плазмообразующего газа, л/мин;

$d_c$  – диаметр плазмообразующего сопла, мм.

В свою очередь, для каждой ширины шва  $e$  требуется определенный диапазон допустимых диаметров плазмообразующего сопла  $d_c$ . Таким образом уменьшение расчетной ширины шва  $e$ , а следовательно, и диаметра сопла  $d_c$  приведет к уменьшению величины тока, что может существенно снизить производительность (скорость сварки  $V$ ).

Таким образом, при варьировании расчетной шириной шва  $e$  в области минимума погонной энергии необходимо проверять условия обоснованного увеличения скорости сварки и, с другой стороны, уменьшения ширины шва  $e$  и объема сварочной ванны.

Для расчета эффективной тепловой мощности  $Q_{\text{Э}}$  можно воспользоваться эмпирическими зависимостями напряжения сжатой дуги в аргоне при плазменной сварке на типичных режимах (при токах более 50 А):

$$U_d \approx C + 0,03 I_d,$$

где  $C$  – начальное напряжение сжатой дуги, для прямой полярности  $C \approx 22$  В, для обратной полярности  $C \approx 30$  В;

$I_d$  – ток сжатой дуги, А.

Эффективный КПД  $\eta_{\text{Э}}$  сжатой дуги в аргоне для типичных режимов плазменной сварки проникающей дугой составляет 55 % для прямой полярности и 45 % ... 50 % для обратной полярности.

Эффективный радиус  $R_q$  сжатой дуги при сварке можно определить как  $R_q = (1,3 \dots 1,4) d_c$ .

### **10.2 Порядок выполнения работы**

- 1 Выполнить задание по варианту, предложенному преподавателем.
- 2 Изучить схему плазменной сварки проникающей дугой, определить характер радиального распределения плотности теплового потока  $q(r)$ , давления  $p(r)$ , плотности тока  $j(r)$ .
- 3 Рассчитать и выбрать оптимальные параметры режима сварки: ширину шва  $e$  при заданной толщине  $s$ , ток дуги  $I_d$ , расход плазмообразующего газа, напряжение сжатой дуги в аргоне  $U_d$ , эффективную тепловую мощность  $Q_{\Sigma}$ , эффективный КПД  $\eta_{\Sigma}$  сжатой дуги.
- 4 Сделать выводы по результатам расчетов.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Сущность плазменно-дуговой резки.
- 2 Устройство режущего плазмотрона.
- 3 Какие газы используются в качестве первичного, плазмообразующего и вторичного при плазменной резке?
- 4 Порядок расчета эффективной тепловой мощности  $Q_{\Sigma}$  сжатой дуги в аргоне при плазменной сварке.

## **Список литературы**

- 1 **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки: учебник / В. П. Куликов. – 3-е изд., стер. – Минск: Новое знание, 2019. – 463 с.
- 2 **Милютин, В. С.** Источники питания для сварки / В. С. Милютин, М. П. Шалимов, С. М. Шанчуров. – Москва: Айрис-пресс, 2007. – 384 с.
- 3 **Милютин, В. С.** Источники питания и оборудование для электрической сварки плавлением / В. С. Милютин, Р. Ф. Катаев. – Москва: Академия, 2013. – 368 с.
- 4 **Володин, В. Я.** Современные сварочные аппараты своими руками / В. Я. Володин. – Санкт-Петербург: Наука и техника, 2008. – 304 с.
- 5 **Соснин, Н. А.** Плазменные технологии. Руководство для инженеров / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков, П. А. Тополянский. – Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2013. – 406 с.
- 6 Оборудование для дуговой сварки: справочное пособие / Под ред. В. В. Смирнова. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.
- 7 Оборудование сварки плавлением: методические рекомендации к практическим занятиям для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» дневной и заочной форм обучения в 2 ч / Сост. С. М. Фурманов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2022. – Ч. 1. – 45 с.