

Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана

Б.М. Федоров, А.И. Мисюров,  
Н.А. Смирнова

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ  
КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ  
ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ

В двух частях

Часть 2

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ  
МИКРОПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

*Методические указания к лабораторным работам  
по курсу «Технология машиностроительного производства»*

Москва  
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
2011

УДК 621.791.72(076.5)

ББК 34.55

Ф33

Рецензент *В.П. Морозов*

**Федоров Б.М.**

Ф33      Технология обработки материалов концентрированными потоками энергии : метод. указания к лабораторным работам по курсу «Технология машиностроительного производства» : в 2 ч. – Ч. 2 : Технология и оборудование микроплазменной обработки / Б.М. Федоров, А.И. Мисюров, Н.А. Смирнова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 22, [2] с. : ил.

Рассмотрены оборудование и технологические особенности процессов микроплазменной сварки, наиболее широко применяющихся в машиностроении. Представлены указания к выполнению лабораторных работ. Продолжительность каждой лабораторной работы 4 часа.

Для студентов, изучающих курс «Технология машиностроительного производства».

Рекомендовано Учебно-методической комиссией факультета МТ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 621.791.72(076.5)

ББК 34.55

## **Работа № 4. УСТРОЙСТВО И РАБОТА МИКРОПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ МПУ-4**

**Цель работы** – ознакомление с назначением, устройством и принципом работы установки для микроплазменной сварки МПУ-4, изучение взаимодействия ее отдельных узлов и механизмов; приобретение практических навыков по установлению параметров режима сварки, возбуждению дуги и выполнению сварных швов.

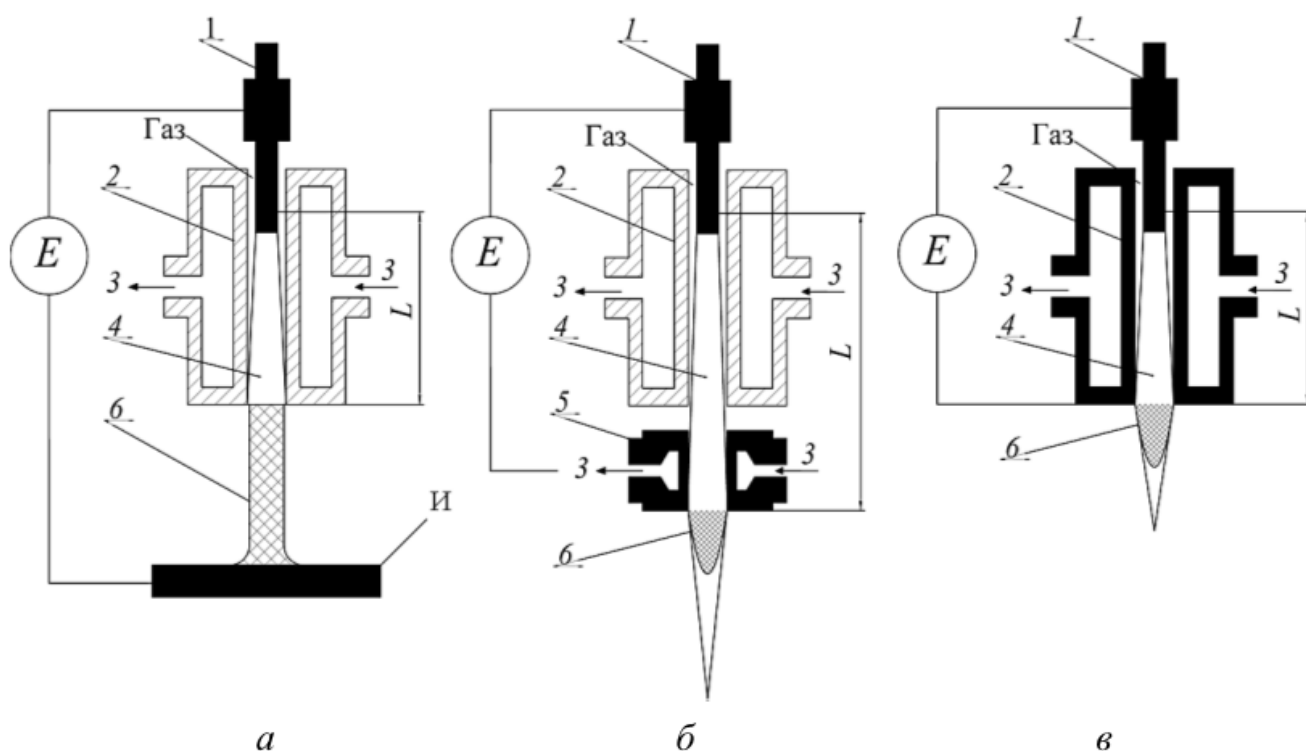
### **Устройство и работа установки**

Плазменная обработка относится к процессам обработки деталей высокотемпературным (5000...20 000 °С и выше) концентрированным потоком ионизированных частиц, полученным за счет сжатия дугового разряда направленным потоком газа (аргона, азота, гелия и др.). Применяют несколько схем (рис. 4.1) дуговых плазменных горелок (плазмотронов).

При использовании горелки дуги прямого действия (рис. 4.1, *а*) изделие включено в цепь источника питания и должно быть токопроводящим, при использовании горелки дуги косвенного действия (рис. 4.1, *б, в*) электропроводность изделия не обязательна. В установке МПУ-4 используются оба случая: для основной дуги (см. рис. 4.1, *а*) и для дежурной (см. рис. 4.1, *в*).

Пост для механизированной микроплазменной обработки (сварки) включает в себя установку МПУ-4, горелку, механизм для крепления и перемещения деталей (пластин) с блоком управления механизма перемещения и кронштейном для крепления горелки, баллон (ГОСТ 949–73) с вентилем и редуктором (ГОСТ 13861–89), защитный кожух с окнами для наблюдения за процессом и стол для размещения отдельных элементов поста. Для защиты от излучения в окна кожуха вставлены специальные стекла.

Установка МПУ-4 предназначена для автоматической сварки черных, цветных, легких и тугоплавких металлов и сплавов толщиной от 0,1 до 1,5 мм (в зависимости от их физико-химических свойств и типа шва) при температуре окружающего воздуха от – 50 до + 50 °С.



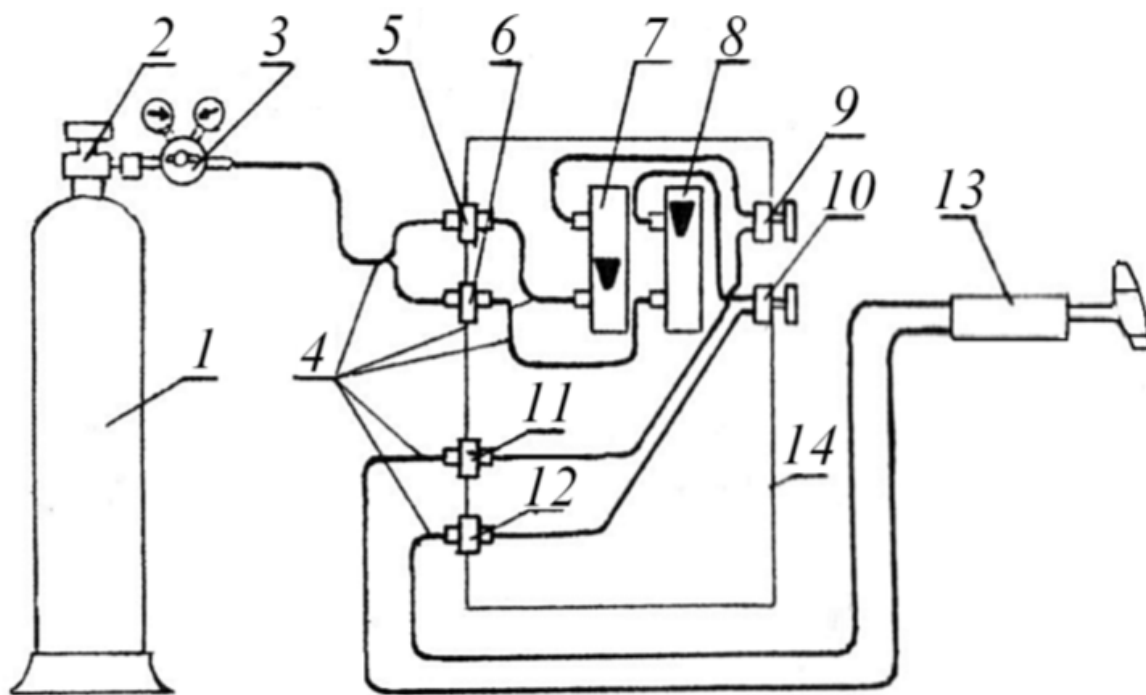
**Рис. 4.1.** Принципиальные схемы дуговых плазменных горелок для получения:

*а* – плазменной дуги (совмещенное сопло и канал, плазменная струя совпадает со столбом дуги); *б* – плазменной струи (раздельные сопло и канал, плазменная струя выделена из столба дуги); *в* – плазменной струи (совмещенные сопло и канал); *1* – электрод; *2* – канал; *3* – охлаждающая вода; *4* – столб дуги; *5* – сопло; *6* – плазменная струя; *Е* – источник тока; *И* – изделие; *Л* – углубление электрода в канал

Для осуществления процесса микроплазменной сварки в установку и горелку необходимо подать охлаждающую воду (расход не менее 0,5 л/мин), в горелку – плазмообразующий газ (расход 0,2...0,5 л/мин), защитный газ (расход не менее 0,5 л/мин) и питание от источника МПУ-4. Система подачи газа служит для подачи в горелку плазмообразующего и защитного газов.

Схема системы питания горелки газовой смесью (рис. 4.2) обеспечивает возможность применения одного баллона для газа, если этот газ выбран в качестве плазмообразующего и защитного. Давление не более  $0,5 \cdot 10^5$  Па устанавливают с помощью газового редуктора 3 по показанию выходного манометра при полностью открытом вентиле 2 баллона 1. В качестве плазмообразующего газа используют аргон; в качестве защитного – аргон, гелий, их смеси и смеси этих газов с водородом и азотом.

Соединения всех элементов газовой системы осуществляют рукавами резиновыми напорными 4. Штуцеры 5 и 6 служат для ввода плазмообразующего и защитного газов в горелку 13, ротаметры 7, 8 и вентили 9, 10 обеспечивают регулировку и измерение расхода газов.



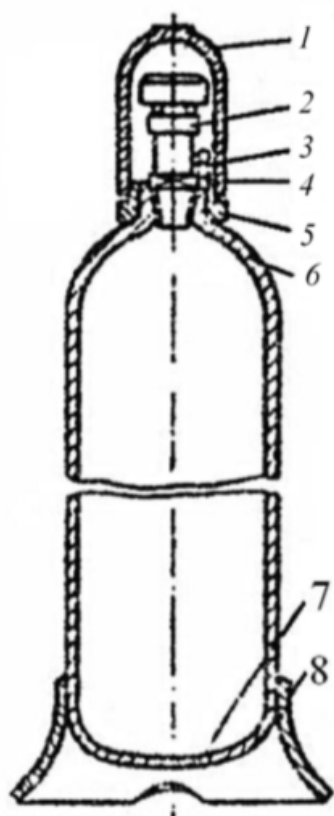
**Рис. 4.2.** Схема питания горелки газовой смесью:

1 – баллон; 2 – вентиль баллона; 3 – газовый редуктор; 4 – рукава резиновые напорные; 5, 11 – штуцеры для ввода газа аргон; 6, 12 – штуцеры «Защ. газ»; 7 – ротаметр «Аргон»; 8 – ротаметр «Защ. газ»; 9 – вентиль регулировочный «Аргон»; 10 – вентиль регулировочный «Защ. газ»; 13 – горелка; 14 – корпус установки

Баллон служит для хранения и перевозки газообразного аргона под давлением  $1,5 \cdot 10^7$  Па и представляет собой цельнотянутый цилиндрический стальной сосуд 6 (рис. 4.3). На выпуклое днище 7 баллона насажен опорный башмак 8. В горловину, имеющую коническое отверстие с резьбой, ввертывается вентиль 2. На горловину надето кольцо 5 с резьбой, на которое надевается предохранительный колпак 1. Баллон для аргона окрашивают в серый цвет, зеленым цветом делают надпись «Аргон чистый» и проводят зеленую полосу.

Наполнение баллонов и опорожнение их производят через запорный вентиль, имеющий боковой штуцер 3, к которому присоединяют редуктор. Наиболее распространены баллоны емкостью 40 л, которые при давлении  $1,5 \cdot 10^7$  Па вмещают  $6 \text{ м}^3$  аргона. На верхней сферической неокрашенной части баллона должно быть нанесено: номер баллона и завод-изготовитель, дата изготовления, емкость баллона, масса баллона, рабочее и испытательное давление, клеймо технического инспектора, срок следующего испытания.

На рабочем месте баллон следует закрепить или установить на специальных подставках. Расход газа из баллона прекращается при давлении в нем не менее  $(1...2) \cdot 10^5$  Па. Такое давление необходи-



**Рис. 4.3.** Продольный разрез баллона газового:

1 – колпак; 2 – вентиль; 3 – штуцер; 4 – заглушка; 5 – кольцо; 6 – баллон; 7 – днище; 8 – башмак

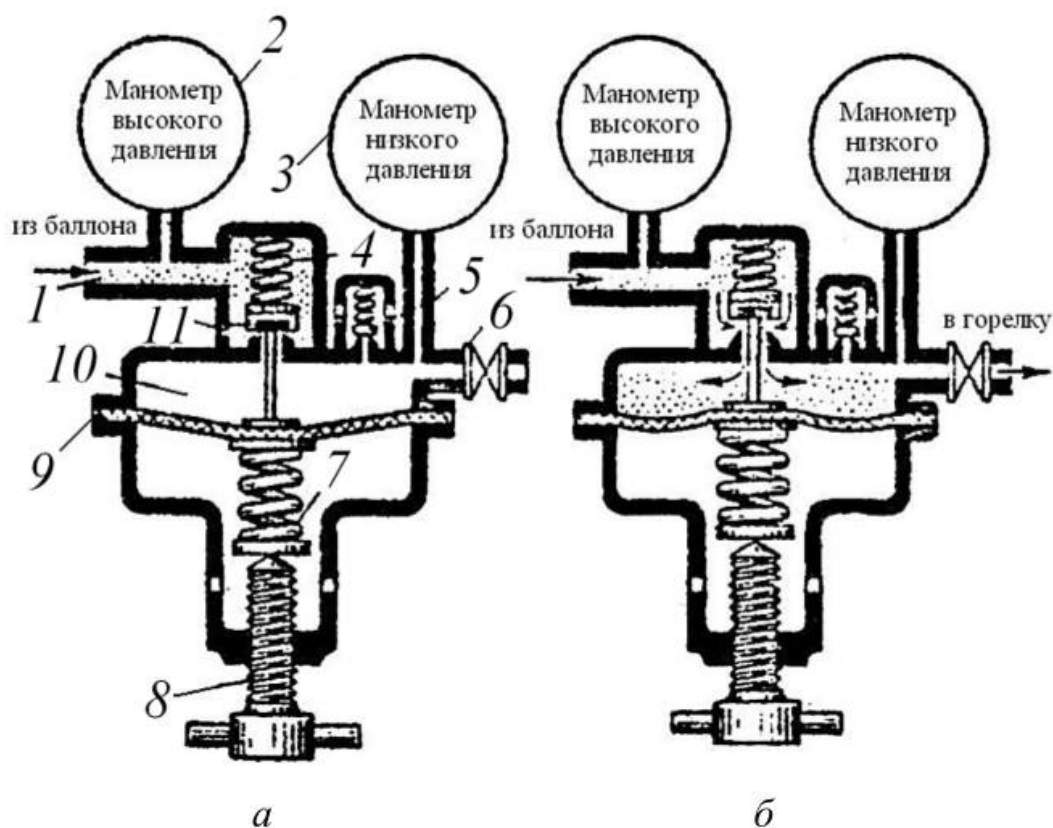
мо для повторной заправки. Ремонт вентиля нельзя проводить при наполненном баллоне. Вентиль 2 (см. рис. 4.2 и 4.3) обеспечивает надежную герметичность и подачу газа к редуктору.

Редукторы газовые (рис. 4.4) применяют для понижения давления газа, отбираемого из баллона, и установления его рабочего значения. При открытом вентиле баллона газ под высоким давлением через входной штуцер 1 проходит в камеру высокого давления редуктора и его значение регистрируется манометром высокого давления 2. Если регулирующий рабочий винт 8 находится в открытом рабочем положении, то через зазор между редуцирующим клапаном 11 и седлом клапана газ поступает в рабочую камеру 10 и давление его понижается. Давление в камере регистрируется манометром низкого давления 3. При постоянном расходе газа через открытый вентиль 6 усилие от сжатия пружины 7 уравнивается усилием от сжатия обратной пружины 4 и давлением газа на мембрану 9. Если расход газа увеличивается, то давление в камере 10 понижается, клапан 11 под-

нимается, поступление газа через клапан возрастает и рабочее давление восстанавливается. Предохранительный клапан 5 срабатывает при чрезмерном случайном увеличении давления газа в камере низкого давления.

С помощью газового редуктора можно поддерживать требуемое рабочее давление  $P_{\text{вых}}$  газа на выходе из редуктора при изменении давления в баллоне от значения  $P_{\text{max}}$  до  $P_{\text{min}}$ . Характерный вид зависимости рабочего давления от давления в баллоне для всех типов газовых редукторов показан на рис. 4.5.

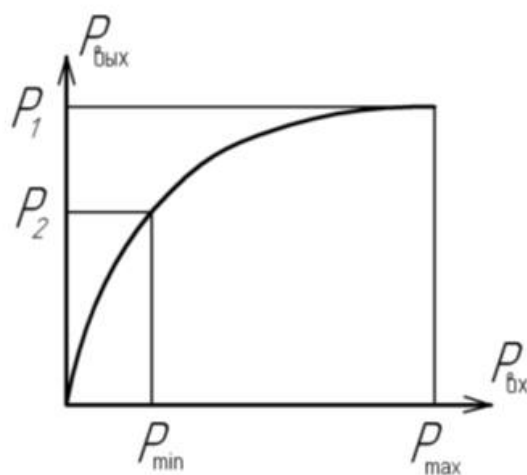
Ротаметр – это расходомер постоянного перепада давления, принцип действия которого основан на восприятии динамического давления потока среды поплавком, перемещающимся вдоль конической трубки (рис. 4.6). Ротаметры со стеклянной ротаметрической трубкой и местными показаниями обозначают РМ.



**Рис. 4.4.** Схема устройства и работы редуктора:

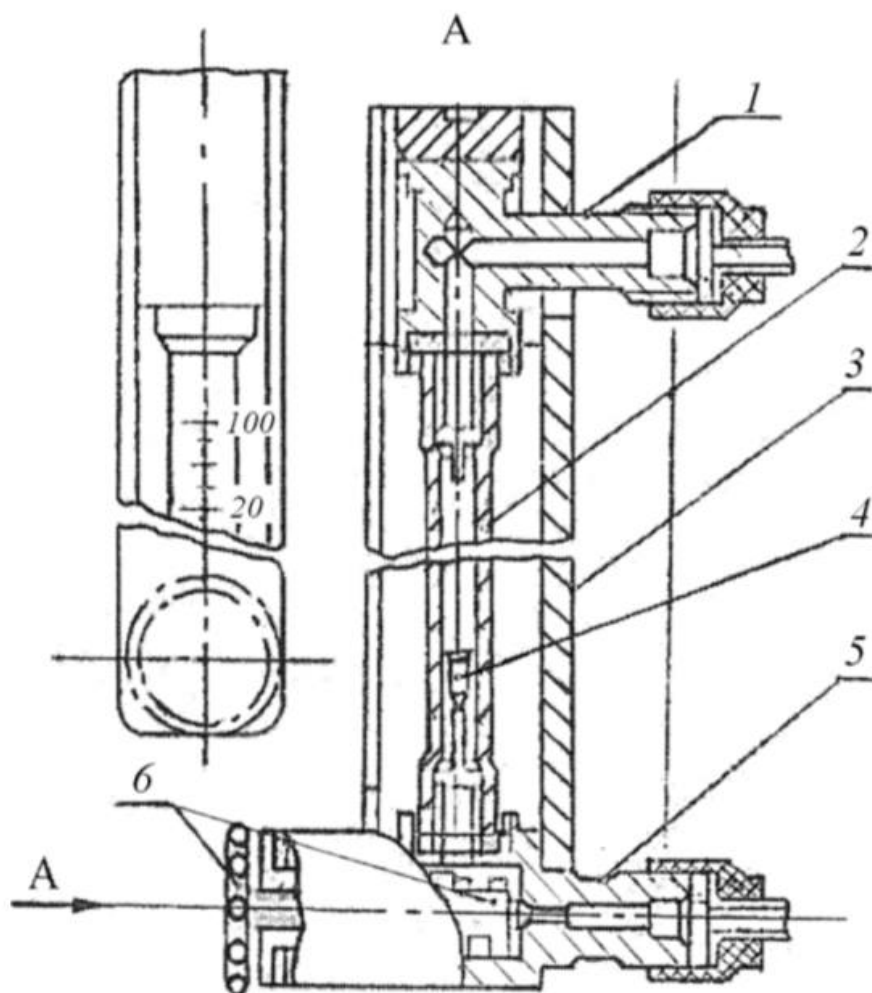
*а* – нерабочее положение элементов редуктора (газ не проходит через редуктор);  
*б* – положение, когда открыт доступ газа в рабочую камеру; 1 – штуцер; 2 – манометр высокого давления; 3 – манометр низкого давления; 4 – обратная пружина; 5 – предохранительный клапан; 6 – вентиль; 7 – пружина; 8 – рабочий винт; 9 – мембрана; 10 – рабочая камера; 11 – редуцирующий клапан

Механизм для крепления и перемещения деталей с блоком управления обеспечивает надежное закрепление образцов (пластин) прижимами и их автоматическое перемещение в процессе обработки с заданной скоростью  $V_{\text{обр}}$ . Зона обработки закрывается специальным защитным экраном (на рис. не показан), предохраняющим от светового и ультрафиолетового излучения. На передней панели блока управления находятся элементы, обеспечивающие включение и выключение сети, реверсирование, регулирование и измерения скорости движения столика.



**Рис. 4.5.** Характеристика редуктора:

$P_1, P_2$  – наибольшее и наименьшее рабочие давления на выходе из редуктора при его изменении на входе от  $P_{\text{max}}$  до  $P_{\text{min}}$



**Рис. 4.6.** Схема ротаметра с вентилем:

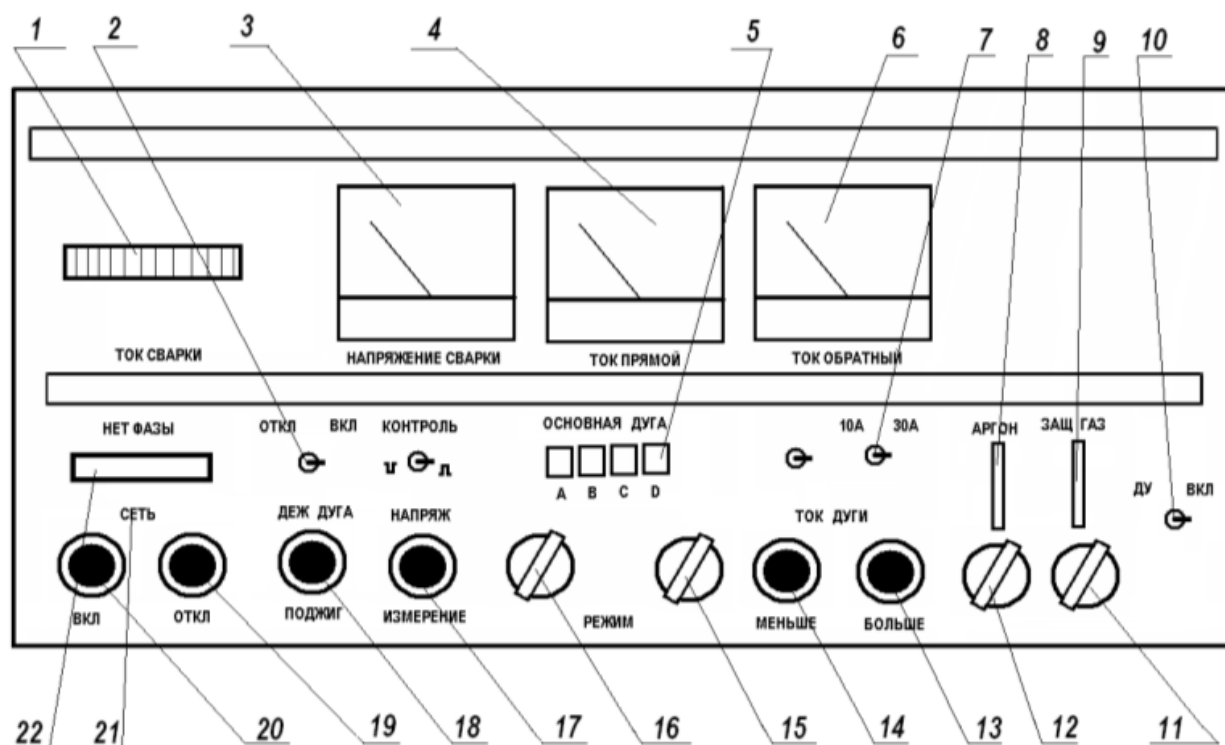
1 – штуцер отвода газа; 2 – стеклянная трубка; 3 – корпус; 4 – поплавок; 5 – штуцер подвода газа; 6 – вентиль подачи газа

Применяемая микроплазменная горелка предназначена для ручной сварки на постоянном и переменном токе  $I_{св}$ , она обеспечивает надежную работу при мощности до 2 кВт. В такой горелке используется вольфрамовый электрод диаметром 0,8...1,6 мм.

Все элементы установки МПУ-4 заключены в корпусе. Спереди, на панели, размещены органы управления и контроля, а сзади – органы подключения установки (рис. 4.7). Горелка включена в систему водяного охлаждения, работающую при давлении воды  $(1...3) \cdot 10^5$  Па.

### Технические данные установки

1. Электрическая потребляемая мощность – не более 1,5 кВт.
2. Расход газа, подаваемого под давлением – не более 50 кПа:  
плазмообразующего газа – 0,003...0,008 л/с;  
защитного газа – не менее 0,007 л/с.



**Рис. 4.7.** Панель управления установки МПУ-4:

1 – шкала барабана; 2 – тумблер «Дежурная дуга»; 3 – прибор для измерения напряжения «Напряжение сварки»; 4 – прибор для измерения тока «Ток прямой»; 5 – переключатель «Основная дуга»; 6 – прибор для измерения тока «Ток обратный»; 7 – тумблер «Ток дуги 10 А – 30 А»; 8 – ротаметр – расходомер плазмообразующего газа; 9 – ротаметр-расходомер защитного газа; 10 – тумблер дистанционного управления «ДУ – ВКЛ»; 11 – ручка установки расхода защитного газа (аргона); 12 – ручка установки расхода плазмообразующего газа (аргона); 13 – кнопка тока дуги «Больше»; 14 – кнопка тока дуги «Меньше»; 15; 16 – переключатели режима блока «Основная дуга»; 17 – кнопка «Измерение»; 18 – кнопка «Поджиг»; 19 – кнопка «Сеть откл»; 20 – кнопка «Сеть вкл»; 21 – блок «Сеть»; 22 – лампа-индикатор сети «Нет фазы»

3. Расход воды – не менее 0,008 л/с.

4. Режимы работы установки:

А – сварка на постоянном токе  $I_{св}$  дугой прямой полярности;

В – сварка на импульсном токе дугой прямой полярности с дискретным (0,02; 0,03; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 с) регулированием длительности импульсов и пауз с точностью до 10 %;

С – сварка на переменном и импульсном токах дугой обратной полярности с дискретным (0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с) регулированием длительности импульсов и пауз с точностью до 10 %;

Д – сварка на постоянном токе дугой обратной полярности.

5. Напряжение холостого хода источника питания дежурной дуги – 70...80 В.
6. Ток дежурной дуги:  
в режиме А –  $3 \pm 0,5$  А;  
в режиме D –  $6 \pm 0,5$  А.
7. Напряжение холостого хода источника питания основной дуги:  
при прямой полярности – 55...80 В;  
при обратной полярности – 70...80 В.
8. Параметры импульса поджига:  
амплитуда – 220...260 В;  
длительность – 2 мс.
9. Ток основной дуги в непрерывном режиме работы:  
при прямой полярности и длине дуги 3...6 мм:  
I ступень –  $2,5...10 \text{ А} \pm 7,5 \%$ ;  
II ступень –  $8...30 \text{ А} \pm 7,5 \%$ ;  
при обратной полярности и длине дуги – 2...3 мм –  $4...12 \text{ А} \pm 7,5 \%$ .
10. Длина основной дуги прямой полярности при токе 2,5 А – не менее 3 мм.
11. Длина основной дуги обратной полярности при токе 6 А – не менее 2 мм.

### **Техника безопасности при проведении лабораторной работы**

1. Ознакомиться с общими правилами по технике безопасности в лаборатории сварки.
  2. В процессе эксплуатации установки после каждого часа непрерывной работы горелки установку необходимо выключать на 15...20 минут для охлаждения составных частей установки.
  3. Категорически запрещается проводить работу на установке без защитного экрана и при выключенной вытяжной вентиляции.
- Оборудование:* установка для микроплазменной сварки МПУ-4.

**Включение установки и работа на ней проводятся под наблюдением учебного мастера или преподавателя!**

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с описанием, принципом работы и устройством оборудования, используемого при микроплазменной сварке.

2. Снять четыре показания (10, 15, 20, 25) прибора индикации скорости перемещения столика при его движении в прямом и обратном направлениях и занести результаты измерений (по три для каждого показания) в табл. 4.1.

Таблица 4.1

| №<br>п/п | Показания<br>прибора,<br>деление | Время движения, с          |                              | Скорость движения, м/ч     |                               |                              |                               |
|----------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|          |                                  | Прямое<br>направ-<br>ление | Обратное<br>направ-<br>ление | Прямое<br>направ-<br>ление | Сред-<br>нее<br>зна-<br>чение | Обратное<br>направле-<br>ние | Сред-<br>нее<br>зна-<br>чение |
| 1        |                                  |                            |                              |                            |                               |                              |                               |
| ...      |                                  |                            |                              |                            |                               |                              |                               |
| 12       |                                  |                            |                              |                            |                               |                              |                               |

3. Под руководством учебного мастера или преподавателя выполнить три проплавливающих прохода на пластине из стали типа 08X18H9T толщиной 0,7 мм (табл. 4.2).

3.1. Установить в приспособление образец для проплавления, закрепить его прижимными винтами.

Таблица 4.2

| Режим<br>сварки | №<br>режи-<br>ма | I, А                                        |                                      | U, В                                 | V,<br>м/ч                                    | Расход газа,<br>дел.        |                |
|-----------------|------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|----------------|
|                 |                  | по шкале<br>барабана 1<br>(см.<br>рис. 4.7) | по<br>прибору 4<br>(см.<br>рис. 4.7) | по<br>прибору 3<br>(см.<br>рис. 4.7) | по<br>прибору<br>индекса-<br>ции<br>скорости | плазмо-<br>обра-<br>зующего | защит-<br>ного |
| А               | 1                | 30                                          |                                      | 12                                   | 25                                           | 50                          | 100            |
|                 | 2                | 30                                          |                                      | 12                                   | 15                                           | 50                          | 100            |
|                 | 3                | 20                                          |                                      | 12                                   | 25                                           | 50                          | 100            |

3.2. Установить по шаблону расстояние 3 мм между торцом сопла сварочной горелки и поверхностью образца.

3.3. Включить тумблер блока управления.

3.4. Сместить столик с образцом, установив сопло горелки над канавкой столика на расстоянии 10...15 мм от кромки образца.

3.5. Закрыть место обработки защитным экраном.

**Внимание! Категорически запрещается продолжать работу без установки защитного экрана.**

3.6. Включить вентиляцию и подачу воды, проверив по сливу ее прохождение через установку.

3.7. Включить на передней панели (см. рис. 4.7) МПУ-4 кнопку 20 «Сеть вкл.», при этом должны загореться лампы подсветки ротаметров 8, 9.

3.8. Установить тумблер 7 «Ток дуги 10 А – 30 А» в положение, соответствующее выбранному режиму.

3.9. Включить переключатель 5 «Основная дуга» в положение А.

3.10. Полностью открыть вентиль 2 баллона с газом аргон (см. рис. 4.3) и по манометру высокого давления редуктора убедиться в наличии газа.

3.11. Вращая регулирующий винт 8 (см. рис. 4.4), установить рабочее давление газа, равное 50 кПа (0,5 кгс/см<sup>2</sup>), контролируя его значение по показаниям манометра низкого давления 3.

3.12. Ручкой 12 (см. рис. 4.7) установить расход плазмообразующего газа (аргона), контролируя его по показанию ротаметра 8.

3.13. Ручкой 11 установить расход защитного газа (аргона), контролируя его по показанию ротаметра 9.

3.14. Установить по шкале барабана 1 на передней панели ориентировочный ток сварки (режим № 1), нажимая кнопку «Больше» или «Меньше». Показания тока внести в табл. 4.2.

3.15. Включить тумблер 2 «Дежурная дуга».

3.16. Установить тумблер 10 «ДУ–ВКЛ» в положение ДУ (дистанционное управление).

3.17. Установить скорость перемещения для режима № 1 (см. табл. 4.2) по показаниям прибора на блоке управления механизмом перемещения.

3.18. Нажать кнопку 18 «Поджиг». При этом должна возбудиться дежурная дуга. В противном случае необходимо повторно нажать кнопку «Поджиг». При отсутствии дуги после четырехкратного нажатия кнопки необходимо обратиться к учебному мастеру или преподавателю. После возникновения дуги нажать педаль дистанционного управления.

3.19. Включить тумблер для перемещения рабочего столика с образцом. При приближении дежурной дуги к образцу возбудится основная дуга.

3.20. Провести проплавление образца до конца, наблюдая за процессом через стекло защитного экрана и регистрируя режим сварки по показаниям приборов 3, 4 (см. рис. 4.7) при нажатой кноп-

ке 17 на передней панели МПУ-4. Показания тока по приборам внести в табл. 4. 2.

3.21. Выключить источник питания основной дуги, для чего отпустить педаль дистанционного управления.

3.22. Выключить источник питания дежурной дуги, установив тумблер 2 «Дежурная дуга» в положение ОТКЛ.

3.23. Снять защитный экран и отключить подачу газов, отпустив регулировочный винт редуктора.

4. Выполнить самостоятельно проплавление на режимах № 2 и № 3 (см. табл. 4.2) (см. п. 3.1–3.4, 3.6–3.23).

5. Отпустить регулировочный винт редуктора, закрыть подачу газа через ротаметры.

6. Закрыть вентиль баллона.

7. Нажать кнопку 19 «Сеть откл.».

8. Отключить выключатель на блоке управления механизмом перемещения образцов.

9. Отключить подачу воды к установке.

10. Приступить к составлению отчета.

### **Содержание отчета**

Отчет по работе должен содержать:

1. Описание процесса, схемы плазменных горелок и режимы работы установки.

2. Назначение и основные характеристики отдельных элементов поста для микроплазменной обработки.

3. Рисунок передней панели установки МПУ-4 с указанием назначения отдельных управляющих ее элементов.

4. Заполненные табл. 4.1 и 4.2.

5. Выводы по работе.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Каковы основные энергетические параметры плазменной дуги?

2. Какое оборудование необходимо для микроплазменной обработки?

3. Для чего предназначена установка МПУ-4?

4. Каковы основные технические данные установки МПУ-4?
5. Какие режимы работы установки можно использовать при микроплазменной обработке?
6. В чем заключается принцип работы микроплазменной установки?
7. Какова последовательность действий при подготовке установки МПУ-4 к работе?

## **Работа № 5. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА МИКРОПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ШВА**

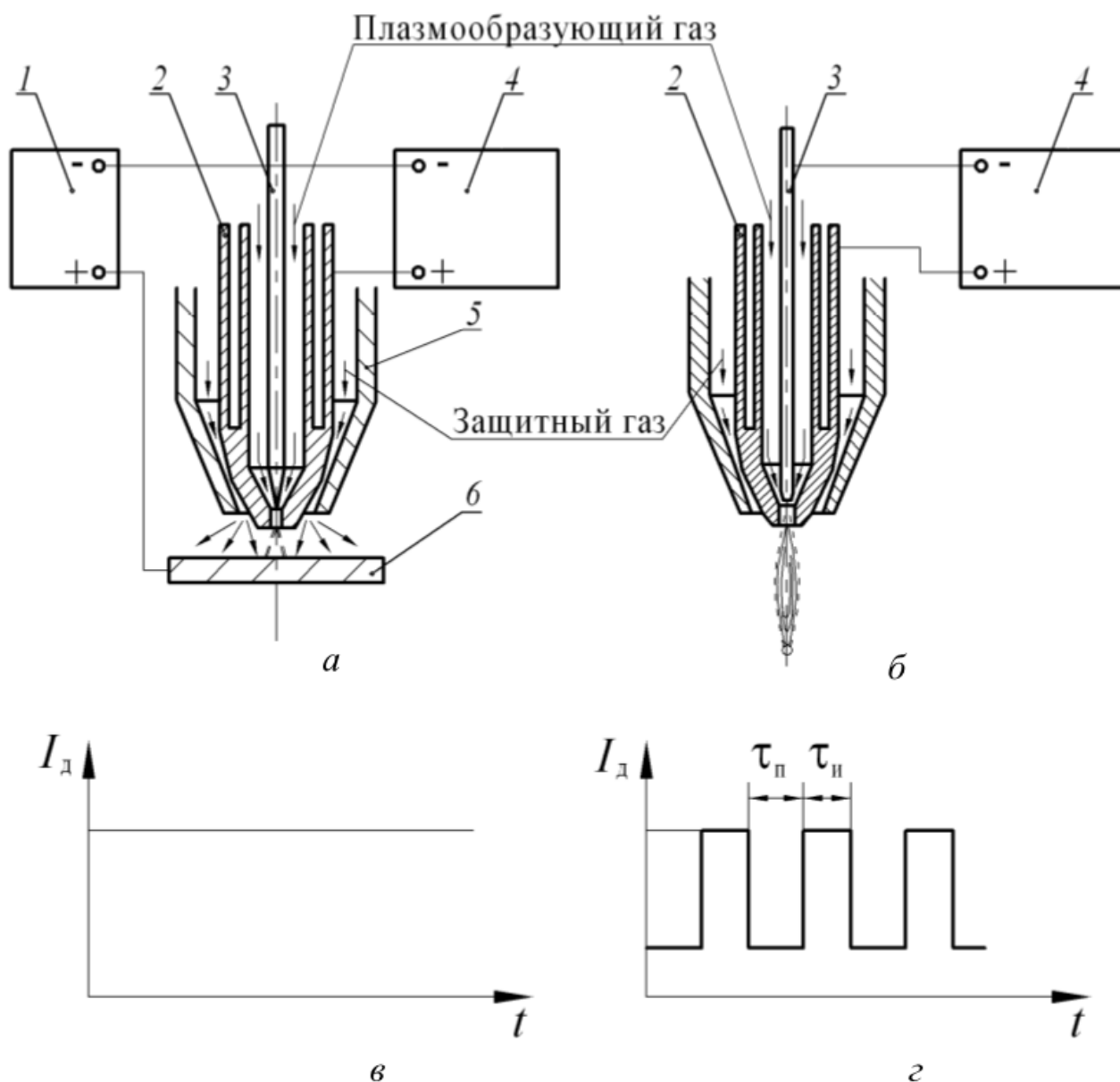
**Цель работы** – изучить особенности микроплазменной обработки, ее виды, области применения и влияние параметров режима на формирование шва при проплаве тонколистового материала.

### **Физические основы процесса**

Во многих случаях использование аргоно-дуговой сварки (АрДС) для соединения тонколистового ( $\delta = 0,1 \dots 1,5$  мм) металла затруднено из-за образования прожогов и значительной деформации свариваемых деталей. Уменьшение сварочного тока при АрДС до 10 А и ниже снижает устойчивость дугового разряда. Для увеличения его устойчивости при токах менее 10 А можно использовать продольное магнитное поле, интенсивное охлаждение периферийных слоев столба дугового разряда и специальные сопла. Последние два способа применяют при микроплазменной сварке, что обеспечивает сжатие дугового разряда, затрудняет диффузию и ионизацию газов в радиальном направлении столба дуги и повышает устойчивость дугового разряда [1].

В ИЭС им. Е.О. Патона разработан способ микроплазменной сварки, который может быть использован на токах менее 10 А при питании основной дуги от источника 1 и дежурной дуги от источника 4 (рис. 5.1, а) или питании дуги косвенного действия от источника 4 (рис. 5.1, б) [2]. Особенность этого процесса состоит в том, что прикатодная область дугового разряда находится в атмосфере плазмообразующего газа (аргона), а столб дугового разряда и его анодная область – в атмосфере защитного газа (аргона; смеси

аргона с водородом, кислородом или азотом; гелия; смеси гелия с аргоном, водородом и др.). Дуговой разряд горит в струе инертного газа между вольфрамовым катодом 3 и изделием (анодом) 6, а его диаметр формируется каналом сопла 2, в который подается плазмообразующий газ. Радиальные размеры столба, плотность энергии на аноде и интенсивность его плавления определяются диаметром канала сопла, видом газа и его расходом, током и другими параметрами режима работы плазмотрона.



**Рис. 5.1.** Схемы микроплазменной обработки сжатой дугой прямого (а) и косвенного (б) действия в непрерывном (в) и импульсном (г) режимах: 1, 4 – источники питания; 2 – канал сопла; 3 – вольфрамовый катод; 5 – кожух; 6 – изделие;  $\tau_n$  – время горения дуги (время импульса);  $\tau_n$  – время паузы

Сопло изготавливают из материала с большой теплопроводностью, например из меди, и охлаждают водой. Для получения качественных сварных соединений при плазменной сварке расплав-

ленный металл с лицевой стороны дополнительно защищают от окружающего воздуха, подавая в зону сварки через кожух 5 защитный газ.

При всех режимах расход защитного газа выбирают из условия хорошей защиты расплавленного металла от взаимодействия его с газами воздуха и в целях повышения производительности процесса. Обычно расход защитного газа колеблется в пределах 2...8 л/мин. В некоторых случаях (сварка химически активных металлов) необходима защита обратной стороны шва с применением специальных камер, колпаков и др.

Использование аргоноводородной смеси ( $H_2 = 10\%$ ) повышает проплавляющую способность дуги и скорость сварки. Такая смесь применяется для сварки нержавеющей стали, никеля и сплавов на его основе. При сварке меди, латуни, титана и некоторых других активных металлов используют смеси аргона с 70...75 % гелия, при сварке бронзы – аргон, при сварке низколегированных сталей – смеси аргона с углекислым газом (до 25 %  $CO_2$ ), а также азот с водородом.

Микроплазменная обработка применяется: а) для сварки различных металлов и сплавов; б) для пайки; в) для исправления микродефектов; г) для резки, в том числе неметаллов, волокнистых материалов; д) для наплавки; е) для локального нагрева и плавления поверхности детали или отдельных ее зон.

В сравнении с АрДС можно отметить следующие преимущества микроплазменной сварки:

микроплазма имеет иглоподобную форму;

длина дуги мало влияет на введение теплоты в место обработки;

введение теплоты легче регулируется изменением тока;

микроплазменная дуга может использоваться по схеме как прямого, так и косвенного действия.

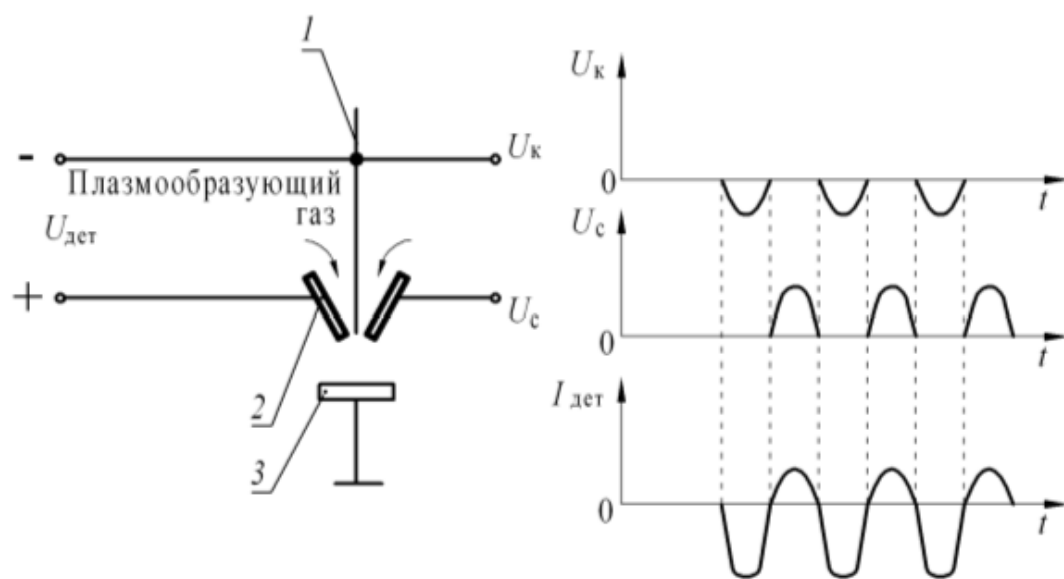
Микроплазменная сварка может осуществляться и в непрерывном, и импульсном режимах (рис. 5.1, в, г). Регулирование амплитуды тока, длительности импульса  $\tau_{и}$  и паузы  $\tau_{п}$  позволяет расширить технологические возможности микроплазмы, в частности можно успешно сваривать цветные металлы и сплавы толщиной менее 0,1 мм, уменьшать ширину зоны термического влияния, уменьшать вероятность испарения компонентов из сплава (например Zn и Pb в ЛС59), осуществлять точечную сварку.

Для получения сплошного сварного шва соотношение параметров  $I_{св}$ ,  $U_{д}$ ,  $v_{св}$ ,  $\tau_{и}$ ,  $\tau_{п}$  импульсной микроплазменной сварки

должно обеспечивать перекрытие точек сварки более чем на 50 %. Рекомендуемая длина дуги при этом виде сварки от 0,5 до 3 мм, а коэффициент жесткости режима ( $G = \tau_{\text{п}}/\tau_{\text{и}}$ ) от 0,5 до 3.

Микроплазменную сварку можно выполнять импульсным током прямой полярности и импульсным током разной полярности (прямой и обратной). Использование импульсной однополярной сварки отдельными точками может быть применено для получения как точечного соединения, так и непрерывного сварного шва, если точки выполнены с перекрытием. С учетом взаимного теплового влияния смежных точек минимальное перекрытие можно допускать в пределах 50...70 % диаметра отдельной точки.

Для сварки тонколистовых деталей из сплавов, покрытых стойкими оксидными пленками (например, алюминиевых сплавов), используют способ импульсной биполярной микроплазменной сварки на переменном токе, обеспечивающий разрушение тугоплавких оксидных пленок на поверхности соединяемых деталей [3]. Сущность способа (рис. 5.2) заключается в том, что в тот полупериод, когда на



**Рис. 5.2.** Схема, иллюстрирующая принцип микроплазменной сварки на переменном токе:

$1$  – электрод;  $2$  – горелка;  $3$  – изделие

сопло горелки 2 подается положительное относительно изделия напряжение  $U_c$ , между соплом и изделием 3 формируется дуга обратной полярности с нестационарным (перемещающимся) катодным пятном. В этот полупериод значение тока мало и выбирается только из соображений качественной очистки свариваемых кромок изделия. В следующий полупериод на вольфрамовый электрод 1 подается отрицательное относительно изделия (катода) напряжение ( $U_k$ ) и

формируется плазменная дуга с плотностью энергии, достаточной для плавления свариваемого металла. В этом случае через изделие проходит асимметричный переменный ток, а по вольфрамовому электроду – только ток прямой полярности. Это обеспечивает высокую стойкость электрода, достаточную устойчивость и стабильность горения дуги.

### **Технические характеристики установки МПУ-4**

Установка МПУ-4 обеспечивает четыре режима работы:

А – сварка постоянным током прямой полярности с плавной регулировкой тока от 2,5 до 30 А;

В – сварка импульсным током прямой полярности с плавной регулировкой импульсов тока от 2,5 до 30 А и дискретной регулировкой длительности импульсов и пауз в пределах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с с точностью  $\pm 10\%$ ;

С – сварка импульсным током разной полярности с плавной регулировкой тока прямой полярности от 2,5 до 30 А и дискретной регулировкой длительности импульсов тока прямой полярности в пределах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с с точностью  $\pm 10\%$  и с плавным регулированием тока обратной полярности от 4 до 12 А и длительностью импульсов тока обратной полярности в пределах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с с точностью  $\pm 10\%$ ;

Д – сварка постоянным током обратной полярности с плавной регулировкой тока от 4 до 12 А.

Напряжение источника тока дежурной дуги при холостом ходе 70...80 В. Ток дежурной дуги в режиме А –  $3 \pm 0,5$  А.

Напряжение источника тока основной дуги прямой полярности при холостом ходе в верхнем положении подвижных катушек трансформатора не менее 55 В, а в их нижнем положении не более 80 В.

Напряжение источника тока основной дуги обратной полярности при холостом ходе в верхнем положении подвижных катушек трансформатора не менее 70 В, а в нижнем не более 80 В.

Ток основной дуги прямой полярности в непрерывном режиме при длине дуги 3...6 мм:

на 1-й ступени регулировки 2,5...10 А  $\pm 7,5\%$ ; на 2-й ступени регулировки 8,0...30 А  $\pm 7,5\%$ .

Ток основной дуги обратной полярности в непрерывном режиме при длине дуги 2...3 мм – 4...12 А  $\pm 7,5\%$ .

*Оборудование:* установка для микроплазменной сварки МПУ-4.

**Включение установки и работа на ней проводятся под наблюдением учебного мастера или преподавателя!**

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с «Инструкцией по технике безопасности при электросварочных работах» и общими правилами по технике безопасности в лаборатории сварки.
2. Категорически запрещается проводить работу на установке без защитного экрана и выключенной вытяжной вентиляции.
3. Ознакомиться с описанием работы.
4. Под руководством учебного мастера или преподавателя выполнить один проход на пластине из нержавеющей аустенитной стали толщиной 0,5...1,0 мм, для чего необходимо:
  - 4.1. Установить в приспособлении образец и закрепить его прижимными винтами.
  - 4.2. Установить длину дуги  $h$ , обеспечив расстояние между нижним торцом сопла сварочной горелки и образцом в пределах 2...3 мм.
  - 4.3. Включить блок управления механизмом перемещения и отвести образец в положение, когда сопло горелки будет расположено над канавкой приспособления на расстоянии 10...15 мм от кромки образца.
  - 4.4. Закрыть место обработки защитным экраном.
  - 4.5. Включить вентиляцию и подачу воды, проверив ее прохождение через установку.
  - 4.6. Включить на передней панели МПУ-4 кнопку 20 «Сеть вкл.»; при этом должны загореться лампы подсветки ротаметров 8 и 9 (см. рис. 4.7).
  - 4.7. Открыть вентиль баллона с аргоном и по показаниям манометра высокого давления редуктора убедиться в наличии газа.
  - 4.8. Вращая регулировочный винт редуктора, установить рабочее давление газа, равное 49 кПа (0,5 кгс/см<sup>2</sup>), контролируя его значение по показанию манометра низкого давления.
  - 4.9. Установить параметры режима № 1 (табл. 5.1), используя управляющие элементы, размещенные на передней панели установки МПУ-4 и блоке управления механизмом перемещения.

Таблица 5.1

| Режим сварки | № режима | Параметры режима сварки |                      |                 |    |                    |           |                         |            |
|--------------|----------|-------------------------|----------------------|-----------------|----|--------------------|-----------|-------------------------|------------|
|              |          | $I_{св}$ , А            | Длина дуги, $h$ , мм | $v_{св}$ , дел. |    | Расход газа, дел.  |           | Положение переключателя |            |
|              |          |                         |                      | →               | ←  | плазмо-образующего | защитного | $\tau_{и}$              | $\tau_{п}$ |
| А            | 1        | 18                      | 2–3                  | 25              | 25 | 50                 | 100       | —                       | —          |
| А            | 2        | 18                      | 2–3                  | 20              | 20 | 50                 | 100       | —                       | —          |
| А            | 3        | 18                      | 2–3                  | 15              | 15 | 50                 | 100       | —                       | —          |
| А            | 4        | 15                      | 2–3                  | 20              | 20 | 50                 | 100       | —                       | —          |
| А            | 5        | 20                      | 2–3                  | 20              | 20 | 50                 | 100       | —                       | —          |
| В            | 6        | 25                      | 2–3                  | 20              | 20 | 50                 | 100       | 0,02                    | 0,5        |
| В            | 7        | 18                      | 2–3                  | 20              | 20 | 50                 | 100       | 0,5                     | 0,02       |
| С            | 8        | 18                      | 2–3                  | 10              | 10 | 50                 | 100       | 0,06                    | 0,5        |

4.10. Включить тумблер 2 «Дежурная дуга».

4.11. Установить тумблер 10 «ДУ – Вкл» в положение ДУ (дистанционное управление).

4.12. Нажать кнопку 18 «Поджиг». Если дежурная дуга не загорается при четырехкратном нажатии кнопки «Поджиг», необходимо обратиться к учебному мастеру или преподавателю.

4.13. Нажать педаль и удерживать ее в нажатом положении в течение всего процесса сварки.

4.14. Включить механизм перемещения столика с образцом в требуемом направлении. При подходе дежурной дуги к образцу возбуждятся основная дуга.

4.15. Произвести проплавление до конца образца, наблюдая за процессом через защитные стекла и регистрируя режим сварки по показателям приборов на передней панели МПУ-4. Измерение напряжения основной дуги осуществляется нажатием кнопки 17 «Измерение».

Значение тока, напряжения и скорости сварки внести в таблицу отчета.

4.16. Выключить основную дугу, отпустив педальную кнопку.

4.17. Выключить дежурную дугу, установив тумблер 2 «Дежурная дуга» в положение «Откл».

4.18. Выполнить самостоятельно проплавление на режимах № 2 – № 8 (см. табл. 5.1).

4.19. Отключить подачу газов, отпустив регулировочный винт редуктора, и поднять защитный экран.

5. Вынуть образец, измерить ширину швов в трех сечениях по их длине и занести результаты измерений в таблицу отчета.
6. Закрыть вентиль баллона.
7. На панели управления нажать кнопку 19 «Сеть откл.».
8. Отключить блок управления механизмом перемещения.
9. Отключить подачу воды к установке.
10. Оформить отчет.

### **Содержание отчета**

Отчет по работе должен содержать:

1. Описание и схемы процесса плазменной обработки.
2. Таблицу с результатами экспериментов.
3. Графики зависимости ширины шва от скорости сварки и тока сварки.
4. Выводы по работе.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие технологические параметры процесса микроплазменной сварки влияют на размеры литой зоны?
2. В чем состоит особенность процесса микроплазменной сварки?
3. Где применяется микроплазменная обработка?
4. Какие преимущества имеет микроплазменная сварка в сравнении с АрДС?
5. Когда используют микроплазменную сварку импульсным током прямой полярности и импульсным током разной полярности?
6. Как влияет ток основной дуги на форму и геометрию сварного шва?
7. Как влияет скорость сварки на форму и геометрию сварного шва?
8. Какой оптимальный режим необходим для микроплазменной сварки данных образцов?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Микроплазменная сварка / Б.Е. Патон, В.С. Гвоздецкий, Д.А. Дудко и др. Киев: Наук. думка, 1979.
2. Шнайдер Б.И. Микроплазменная обработка материалов. Киев: Наук. думка, 1976.
3. Дудко Д.А., Шнайдер Б.И., Погребинский Д.М. Перекрытие точек при импульснодуговой сварке неплавящимся электродом // Автомат. сварка. 1975. № 8.
4. Сварка. Резка. Контроль: Справочник: В 2 т. Т. 1 / Под ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. М.: Машиностроение, 2004.
5. Сварка. Резка. Контроль: Справочник: В 2 т. Т. 2 / Под ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. М.: Машиностроение, 2004.
6. Электротехнический справочник: В 3 т. Т. 3. Электротехнические изделия и устройства / Под ред. В.Г. Герасимова, И.Н. Орлова и др. 10-е изд. М.: МЭИ, 2007.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Работа № 4. Устройство и работа микроплазменной установки МПУ-4 .....                            | 3  |
| Работа № 5. Влияние параметров режима микроплазменной сварки на геометрические размеры шва ..... | 14 |
| Литература.....                                                                                  | 22 |

*Учебное издание*

**Федоров** Борис Михайлович  
**Мисюров** Александр Иванович  
**Смирнова** Наталия Анатольевна

**Технология обработки материалов  
концентрированными  
потоками энергии  
Часть 2**

Редактор *Н.Г. Ковалевская*  
Корректор *М.А. Василевская*  
Компьютерная верстка *О.В. Беляевой*

Подписано в печать 28.04.2011. 2011. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 50 экз. Изд. № 107. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.