

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения  
Кафедра «Сварка, обработка металлов давлением и родственные процессы»

Г.М. Короткова, К.В. Моторин

# УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Лабораторный практикум

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2019

ISBN 978-5-8259-1473-2



УДК 621.791.754  
ББК 34.641.51-5973

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, руководитель центра по аттестации  
сварочного оборудования ООО «Средневолжский  
сертификационно-диагностический центр «Дельта»

*Д.А. Семистенов;*

канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного  
университета *А.С. Климов.*

Научный редактор *Д.А. Семистенов*

Короткова, Г.М. Установки для сварки алюминиевых сплавов : лабораторный практикум / Г.М. Короткова, К.В. Моторин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

Практикум включает краткие теоретические сведения, варианты лабораторных работ и порядок их проведения по разделу «Установки для сварки алюминиевых сплавов» дисциплины «Источники питания для сварки».

Приведены требования к порядку выполнения работ, содержанию отчета, контрольные вопросы.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.01 «Машиностроение» (профиль «Оборудование и технология сварочного производства»), очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2019



Редактор *О.И. Елисева*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева, И.В. Карасев*

Дата подписания к использованию 09.10.2019.

Объем издания 1,6 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-51-18

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

Введение .....	5
1. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В АРГОНЕ .....	7
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ .....	13
Лабораторные работы 10, 11. Исследование установки переменного синусоидального тока УДГУ-101, ИПК-350 .....	13
Лабораторные работы 12, 13. Исследование установки переменного тока прямоугольной формы ТИР-300 (ИСВУ-80) .....	18
Лабораторная работа 14. Исследование установки переменного тока прямоугольной формы МПУ-4 .....	24
Лабораторная работа 15. Исследование установки для сварки трехфазной свободной дугой УДГТ-314 .....	29
Лабораторная работа 16. Исследование установки для точечной сварки сжатой трехфазной дугой УДГТ-150У2 .....	34
Библиографический список .....	40
Приложение .....	41

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение алюминиевых и магниевых сплавов — одна из характерных черт современного производства. Благодаря успехам фундаментальных наук, результатам инженерных разработок созданы теоретические и практические основы производства полуфабрикатов из алюминиевых и магниевых сплавов, что привело к созданию технологических производств, позволивших выпускать листы и ленты, профили и прутки, трубы и штамповки различных типоразмеров.

Новые конструкционные материалы на основе алюминия и магния благодаря их малому удельному весу, высокой удельной прочности и коррозионной стойкости широко используются в машиностроительном производстве, несмотря на ряд проблем, которые возникают при создании неразъемных соединений с помощью дуговой сварки.

Технологические свойства сварочной дуги определяются электрофизическими особенностями дугового разряда переменного тока и взаимодействием его с источником питания.

Наиболее качественные швы получаются при сварке неплавящимся электродом на переменном токе в защитной среде инертного газа. Одной из проблем, присущих сварке неплавящимся электродом в защитной среде газа на переменном токе, является низкая стабильность дугового разряда вследствие повторных возбуждений дуги при смене полярности тока. Любой сбой повторного возбуждения дуги приводит к возникновению дефектов.

Алюминиевые сплавы находят широкое применение в сельском хозяйстве при сооружении зернохранилищ и систем мелиорации, в авиастроении, судостроении, где на протяжении нескольких десятилетий используют алюминиевый прокат, трубы, профиль, плиты. Поэтому становится очевидной необходимостью подготовки выпускников по направлению «Оборудование и технология сварочного производства», которые могли бы решать исследовательские и производственные задачи с учетом знания особенностей установок для сварки алюминиевых и магниевых сплавов.

В учебном плане института машиностроения ТГУ предусмотрено изучение дисциплины «Источники питания для сварки», в которую входит лабораторный практикум, состоящий из трех частей: «Сварочные трансформаторы», «Установки для сварки алюминиевых сплавов», «Сварочные выпрямители».

В данном лабораторном практикуме рассмотрены вопросы теории, конструкции, принцип работы и характеристики основных типов установок, разработанных для промышленного применения.

# 1. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В АРГОНЕ

Алюминий и его сплавы широко используется во многих отраслях народного хозяйства. При создании неразъемных соединений в конструкциях из алюминия и его сплавов применяется сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов на переменном токе. Целый ряд особенностей дуги переменного тока возникает при сварке вольфрам-алюминия в аргоне.

Известно, что на поверхности сплавов из алюминия образуется тугоплавкий оксид  $Al_2O_3$  ( $T_{пл} = 2030$  °С) с плотностью больше, чем у алюминия, что затрудняет сплавление кромок и способствует загрязнению металла шва частицами этой пленки. В связи с этим необходима самая тщательная химическая очистка сварочной проволоки и механическая очистка, обезжиривание свариваемых кромок и химическая обработка изделия.

При сварке на переменном токе механизм разрушения оксидной пленки показан на рис. 1.1. На переменном токе  $i_D = I_{max} \sin \omega t$  активное пятно (катод) в один полупериод находится на изделии, а в другой – на вольфрамовом электроде. На обратной полярности  $W^+ - Al^-$  идет разрушение оксидной пленки  $Al_2O_3$ , так как катодом является алюминиевый сплав, а на прямой полярности  $W^- - Al^+$  происходит плавление металла.

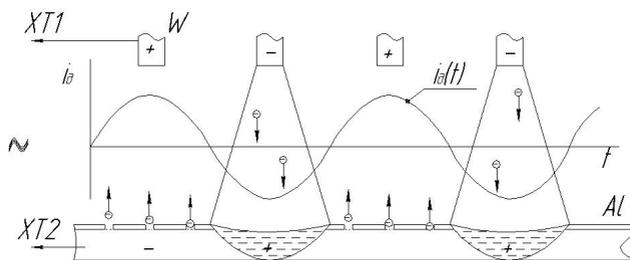


Рис. 1.1. Схема разрушения оксидной пленки при сварке алюминиевых сплавов на переменном токе вольфрамовым электродом

Периодическая смена полярности тока создает условия для обрыва дуги. Особенно затруднен переход с прямой полярности на обратную. Это связано с тем, что неплавящийся вольфрамовый электрод на обратной полярности ( $W^+$ ) допускает меньшую плотность тока по сравнению с прямой полярностью ( $W^-$ ). Сплаву алюминия «трудно» выполнять обязанности катода, так как его поверхность покрыта оксидной пленкой  $Al_2O_3$ , температура плавления которой  $2030^\circ C$ , а разрушение ее целостности – процесс сложный.

К концу каждого полупериода ток дуги уменьшается до нуля, при этом уменьшается и напряженность электрического поля, вследствие чего падает степень ионизации столба дуги. Особенно сложная ситуация возникает при смене полярности тока при переходе его через нуль с прямой  $W^- - Al^+$  на обратную полярность  $W^+ - Al^-$ , так как напряжение повторного возбуждения дуги в 2–3 раза больше, чем при прямой полярности (рис. 1.2). Без дополнительного источника энергии дуга обрывается при  $i = 0$ . Создаются условия для обрыва дуги.

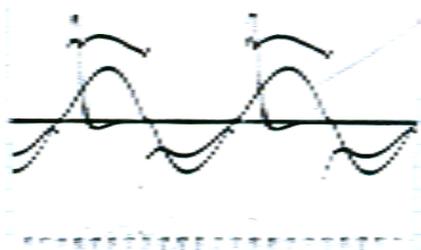


Рис. 1.2. Зависимость  $u_d(t)$ ,  $i_d(t)$ ,  $u_{сr}(t)$  при сварке W-Al в среде аргона

Обрыв дуги в момент смены полярности тока предотвращается либо специальным устройством – стабилизатором дуги, который может включаться последовательно или параллельно в сварочную цепь, либо увеличением скорости перехода тока через нуль до  $100 \text{ кА/с}$ .

Скорость перехода тока через нуль  $di/dt \geq 100 \text{ кА/с}$  удается получить, когда синусоидальная форма тока преобразуется специальными устройствами в прямоугольную при  $f = 50 \text{ Гц}$  (рис. 1.3) [3].

Стабилизацию повторных возбуждений дуги можно обеспечить, увеличив частоту тока дуги, при этом возрастает  $di/dt$  (рис. 1.4).

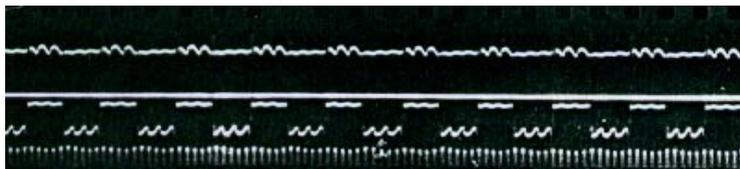


Рис. 1.3. Зависимость  $u_d(t)$ ,  $i_d(t)$ ,  $u_{cr}(t)$  при сварке W-Al в среде аргона:  
 $I = 250 \text{ A}$ ,  $U = 8 \text{ B}$ ,  $f = 50 \text{ Гц}$

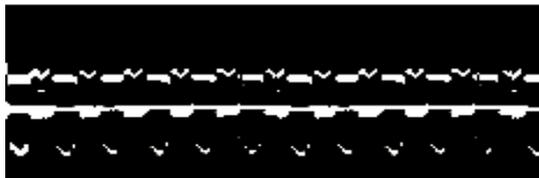


Рис. 1.4. Зависимость  $u_d(t)$ ,  $i_d(t)$ ,  $u_{cr}(t)$  при сварке W-Al в среде аргона:  
 $I = 140 \text{ A}$ ,  $U = 16 \text{ B}$ ,  $f = 100 \text{ Гц}$

Различие теплофизических свойств неплавящегося электрода (сплав вольфрама) и изделия (сплав алюминия) приводит к появлению постоянной составляющей тока  $I_0$ :

$$I_d(t) = I_0 + I_{\max 1} \sin(\omega t + \psi_1) - I_{\max 2} \cos(\omega t + \psi_2) + \dots + I_{\max n} \sin(\omega t + \psi_n), \quad (1)$$

где  $I_d(t)$  – ток дуги, периодически изменяющаяся во времени функция;  $I_0$  – постоянная составляющая тока дуги (выпрямленный ток);  $I_{\max 1}$ ,  $I_{\max 2}$  – амплитуды основной и высших гармоник.

Наличие постоянной составляющей тока в сварочной цепи приводит к тому, что оксидная пленка при горении дуги полностью не разрушается, стабильность горения дуги снижается. Поэтому постоянную составляющую тока необходимо уменьшать или уничтожать ( $I_0 = 0$ ).

Один из самых распространенных способов полного уничтожения  $I_0$  – включить последовательно в сварочную цепь емкость из расчета 330 мФ на 1 А сварочного тока [4].

Наиболее полно свойства дуги выражает её статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ):  $U_d = f(I_d)$  (рис. 1.5) [4].

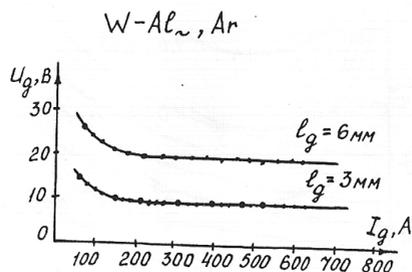


Рис. 1.5. Статические ВАХ дуги при сварке алюминиевых сплавов неплавящимся электродом

При сварке алюминиевых сплавов неплавящимся электродом на переменном токе в защитной среде газа физико-химические свойства среды между вольфрамовым электродом и изделием из алюминиевых сплавов определяются теплофизическими свойствами электродов и свойствами защитного газа (аргон, гелий) или смеси газов. Напряжение на свободной дуге при этом изменяется от 10 до 20 В в зависимости от параметров, влияющих на сопротивление дуги: величины тока, длины дуги, диаметра электрода, расхода и состава защитного газа и др.

Для устойчивости системы «источник питания – дуга» установки и источники питания переменного тока должны обладать падающими внешними вольт-амперными характеристиками:  $U_2 = f(I_2)$ . При этом наклон внешней ВАХ источника, т. е. падение напряжения в диапазоне режима сварки (рис. 1.6), по требованиям аттестации может составлять [4]

$$\text{ВАХ} = \Delta U / \Delta I = (0,08 - 0,2) \text{ В/А.} \quad (2)$$

Обязательным условием устойчивости системы является наличие точки пересечения двух ВАХ:  $U_d = f(I_d)$  и  $U_2 = f(I_2)$  (рис. 1.6).

В общем случае уравнение ВАХ  $U_2 = f(I_2)$  имеет вид [2]

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_{\text{ХХ}} - jI_2 (X_T + X_p) - I_2 (R_T + R_p + R_v + R_B), \quad (3)$$

где  $U_{\text{ХХ}}$  – напряжение холостого хода;  $I_2$  – ток источника питания;  $X_T$ ,  $X_p$  – индуктивные сопротивления сварочного трансформатора и дросселя (реактивное);  $R_T$ ,  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_B$  – активные сопротивления сварочного трансформатора, дросселя, тиристоров (транзисторов), дополнительное (балластное) сопротивление.

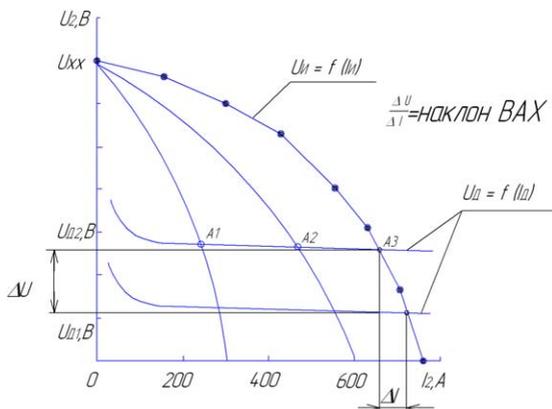


Рис. 1.6. Вольт-амперные характеристики источника питания  $U_{XX} = f(I_{XX})$  и дуги  $U_{Д} = f(I_{Д})$

Регулирование величины сварочного тока – неперенное требование к источникам питания.

Изменение толщины свариваемого изделия, его материала, защитной среды, условий формирования шва требует регулирования величины тока дуги. В современных источниках питания ток дуги может быть функцией  $X_T$  или  $X_p$  или  $R_p$ , или  $X_T$  или  $R_{p3}$ , или  $R_B$ . Величина сварочного тока ориентировочно рассчитывается по уравнению

$$I_{Д} \approx \frac{\sqrt{U_{XX}^2 - U_{Д}^2}}{z}, \quad (4)$$

где  $z = jx + R$  – полное комплексное сопротивление.

Коэффициент полезного действия  $\eta$  сварочных установок определяется в точках устойчивого горения дуги:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}, \quad (5)$$

где  $P_1$  – мощность первичной цепи, В · А;  $P_2$  – мощность сварочной цепи, В · А;  $\cos \varphi_1 \approx \cos \varphi_2 \approx 0,45-0,6$ .

Начальное возбуждение дуги, т. е. ионизация дугового промежутка при сварке изделий из алюминия и его сплавов, производится специальным генератором высокой частоты – осциллятором, который включается последовательно в сварочную цепь. В отдельных

случаях допускается начальное возбуждение с коротким замыканием на технологических пластинах.

Для изучения конструкции и принципа работы принципиальную схему источника питания разбивают на отдельные блоки и представляют в виде функциональной схемы источника питания переменного тока (установки) для сварки вольфрам-алюминия в защитной среде газа (рис. 1.7).

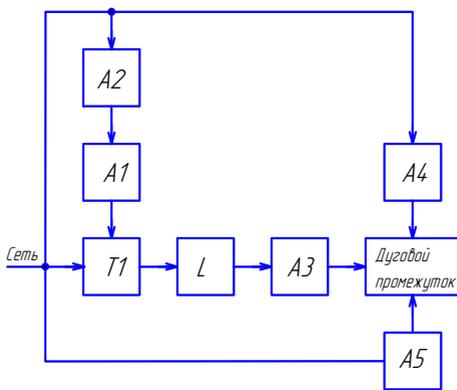


Рис. 1.7. Функциональная схема источника питания или установки переменного тока для сварки в защитной среде газа (пример):  
 $T_1$  – сварочный трансформатор;  $L$  – дроссель;  $A_1$  – прерыватель тока;  
 $A_2$  – блок управления током;  $A_3$  – блок уничтожения  $I_0$ ;  $A_4$  – блок стабилизации при смене полярности тока;  $A_5$  – блок начальной ионизации дугового промежутка

- В результате выполнения лабораторных работ студенты должны:
- знать принцип работы современных и перспективных источников питания переменного тока, способы формирования внешних вольт-амперных характеристик и регулирования тока, стабилизации повторных возбуждений дуги и начальной ионизации дугового промежутка;
  - уметь собрать сварочный пост с измерительной аппаратурой, провести исследование и аттестацию установки, определить ее комплектность.

## 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

### Лабораторные работы 10, 11 Исследование установки переменного синусоидального тока УДГУ-101, ИПК-350

#### Цель работы

Изучить схему установки переменного синусоидального тока, принцип формирования её внешней ВАХ, приобрести навыки аттестации установки.

#### Оборудование и приборы

Установка УДГУ-101 или ИПК-350, осциллятор ОСПЗ-300, активное сопротивление РБ-300, лабораторный стенд.

Приборы:  $pV_1, pV_2, pV_3$  – вольтметры;  $pA_1, pA_2, pA_3, pA_4$  – амперметры;  $RS_1, RS_2$  – измерительные шунты;  $T_3$  – трансформатор тока.

#### Программа работы

1. Изучить конструкцию установки, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в разных режимах (холостой ход, нагрузка, короткое замыкание). Заполнить табл. 1.
4. Построить графики, провести расчеты и сделать выводы по работе.

#### Описание конструкции установок УДГУ-101 и ИПК-350

##### *Назначение*

Универсальные источники питания переменного тока УДГУ-101 и ИПК-350 предназначены для ручной и автоматической сварки неплавящимся электродом в защитной среде газа алюминиевых сплавов, а также могут использоваться для ручной дуговой сварки (РДС) покрытыми электродами (рис. 2.1).

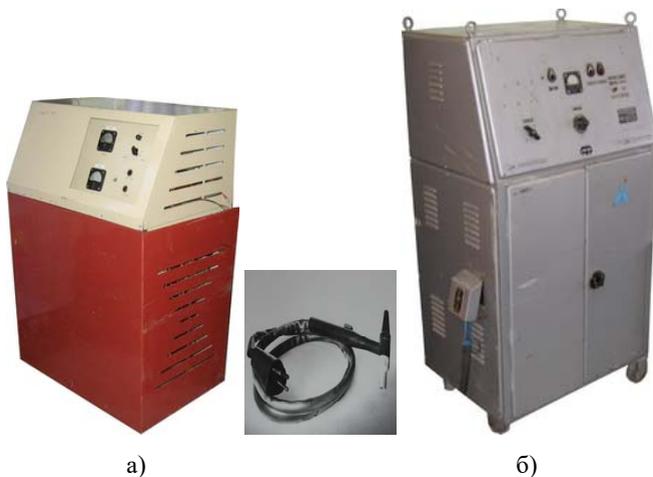


Рис. 2.1. Внешний вид источника питания:  
 а – УДГУ-101; б – ИПК-350 и горелка для РДС W-Al в аргоне

### ***Работа схемы источника питания***

При изучении разобьём схему источника питания (рис. 2.2) на функциональные блоки.

Для ручной дуговой сварки покрытым электродом задействованы сварочный трансформатор  $T_1$ , схема управления ( $W_3, T_2, VD_1, A_3$ ).

Для ручной и автоматической сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом используют сварочный трансформатор  $T_1$ , схему управления ( $A_2$ ), блок конденсаторов  $C_1(A_3)$ , блок стабилизации дуги при смене полярности ( $A_4$ ), блок начального возбуждения дуги ( $A_5$  – осциллятор).

Сварочный трансформатор  $T_1$  с электромагнитным шунтом преобразует напряжение сети 380 В в напряжение холостого хода, формирует внешнюю падающую вольт-амперную характеристику источника питания и регулирует величину тока дуги. Схема управления позволяет плавно и дистанционно регулировать величину тока дуги.

Схема управления состоит из маломощного источника питания, который образован обмоткой  $W_3$  силового трансформатора  $T_1, T_2, VD_1$ . Автотрансформатором  $T_2$  регулируется величина тока в обмотке шунта  $W_{ш}$  от 0 до 10 А. Изменением тока в обмотке шунта  $I_{ш}$ , а следовательно, и величины потоков рассеяния  $\Phi_s$  регули-



При сварке алюминиевых сплавов неплавящимся электродом в защитной среде газа возникает постоянная составляющая тока, которая может достигать 40...50 % от  $I_{\text{д}}$ . Для ее «уничтожения» в сварочную цепь включается блок конденсаторов  $C_1$  (контакты  $S_2$  разомкнуты, контакты  $S_1$  замкнуты).

Стабилизацию повторных возбуждений дуги при смене полярности тока производят стабилизатором дуги ( $A_4$ ), включенным параллельно дуговому промежутку. Начальное возбуждение дуги производится осциллятором последовательного включения ( $A_3$ ).

### Указания и пояснения по выполнению работы

1. Собрать сварочную цепь с измерительной аппаратурой.
2. Установить минимальное значение  $I_{\text{ш}}$  в диапазоне от 0 до 10 А.
3. Записать показания приборов в табл. 1, изменяя количество замкнутых ножей  $R_1$ . Изменив значение тока шунта, повторить запись показаний, затем провести измерение при третьем значении тока шунта.
4. Построить в одних координатных осях графики: внешних ВАХ  $U_2 = f(I_2)$  для трех значений  $I_{\text{ш}}$  и статическую ВАХ дуги для сварки неплавящимся электродом  $U_{\text{д}} = f(I_{\text{д}})$  алюминиевого сплава (рис. 1.5). Обозначить точки пересечения  $A_1, A_2, A_3$  ВАХ:  $U_{\text{д}} = f(I_{\text{д}})$  и  $U_2 = f(I_2)$ .
5. Построить для точек устойчивого равновесия системы «источник – дуга»  $A_1, A_2, A_3$  график регулировочной кривой  $I_2 = f(I_{\text{ш}})$ . Определить кратность регулирования тока дуги  $K_p = I_{\text{д max}} / I_{\text{д min}}$ .
6. Снять зависимость  $i = f(t)$  осциллографом  $P$ .
7. Рассчитать значения  $\eta$  по формуле (5) для точек устойчивого равновесия системы. Значения  $I_1$  определить по графику  $I_1 = f(I_2)$ . Коэффициенты мощности  $\cos \varphi_1$  и  $\cos \varphi_2$  принять равными 0,55–0,6.
8. Определить коэффициент трансформации в режиме холостого хода:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1 + W_2}{W_3 + W_4}. \quad (6)$$

## Содержание отчета

1. Титульный лист (прил. 1).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электрическая схема поста с измерительной аппаратурой и функциональная схема источника питания (ИП).
5. Заполненная таблица 1.
6. Графики зависимостей  $U_2 = f(I_2)$  для трех значений  $I_{\text{ш}}$  и  $U_{\text{д}} = f(I_{\text{д}})$  в одних координатных осях;  $I_{\text{д}} = f(I_{\text{ш}})$ ,  $i_{\text{д}} = f(i)$ .
7. Выводы.

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов

$*I_{\text{ш}}, \text{A}$	Ре- жим	Измерение				Расчет			
		$U_1, \text{B}$	$U_2, \text{B}$	$I_1, \text{A}$	$I_2, \text{A}$	$P_1, \text{B} \cdot \text{A}$	$P_2, \text{B} \cdot \text{A}$	$\eta$	$K_{\text{РЕГ}}$
$I_{\text{ш}}$ min	XX								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	К3								
$I_{\text{ш}}$ сред- нее	XX								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	К3								
$I_{\text{ш}}$ max	XX								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	К3								

\*  $I_{\text{ш}}$  задается преподавателем.

### Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит установка УДГУ-101 (ИПК-350)?
2. Какой внешней ВАХ обладает ИП и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен  $K_{\text{РЕГ}}$ ?
4. В каких пределах изменяется величина  $I_{\text{д}}$ ?
5. Какие значения КПД получены в работе?
6. Какие материалы можно сваривать с помощью УДГУ-101?
7. Какие недостатки конструкции вы обнаружили?

### Лабораторные работы 12, 13 Исследование установки переменного тока прямоугольной формы ТИР-300 (ИСВУ-80)

#### Цель работы

Изучить работу схемы источника питания переменного тока прямоугольной формы, принцип формирования внешней ВАХ, способ формирования тока дуги и его регулирования.

#### Оборудование и приборы

Установка ТИР-300 (рис. 2.3, а) или ИСВУ-80 (рис. 2.3, в).

Горелка для ручной сварки неплавящимся электродом (рис. 2.3, б).

Активное сопротивление РБ-300.

Лабораторный стенд.

Приборы:  $pA_1$ ,  $pA_2$  – амперметры;  $pV_1$ ,  $pV_2$  – вольтметры;  $RS$  – измерительный шунт;  $P$  – осциллограф С1-55;  $T_2$  – трансформатор тока.

#### Программа работы

1. Изучить теоретические сведения (раздел 1).
2. Изучить конструкцию установки ТИР-300, принципиальную схему подключения и определить способ регулирования сварочного тока.
3. Составить функциональную блок-схему установки.
4. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.

5. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в разных режимах: на холостом ходу, под нагрузкой, при коротком замыкании. Заполнить табл. 2.
6. Снять зависимости  $u(t)$  и  $i(t)$  осциллографом.
7. Построить графики, провести расчеты и сделать выводы.
8. Оформить отчет.

### Описание установки ТИР-300 (ИСВУ-80)

#### *Назначение*

Установка ТИР-300 (ИСВУ-80) (рис. 2.3) предназначена для ручной и автоматической сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом в защитной среде инертного газа.

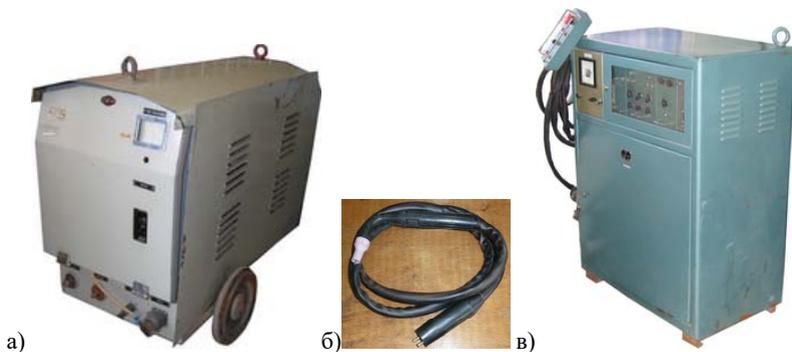


Рис. 2.3. Установки переменного тока: *a* – ТИР-300; *б* – горелка для РДС вольфрамовым электродом в аргоне; *в* – ИСВУ-80

#### *Устройство и работа схемы установки*

Схема установки ТИР-300 (ИСВУ-80) состоит из следующих элементов и узлов (рис. 2.4):

- сварочный трансформатор  $T_1$ ;
- линейный дроссель  $L_2$ ;
- тиристорный мост  $VS_1 - VS_4$  с дросселем насыщения  $L_1$ ;
- устройство для начального возбуждения дуги и стабилизатор повторных возбуждений  $A_4$ ;
- блок управления  $A_2$  коммутацией тиристоров  $VS_1 - VS_4$  и обмотками управления  $W_{y1} - W_{y4}$  дросселя насыщения  $L_1$ .



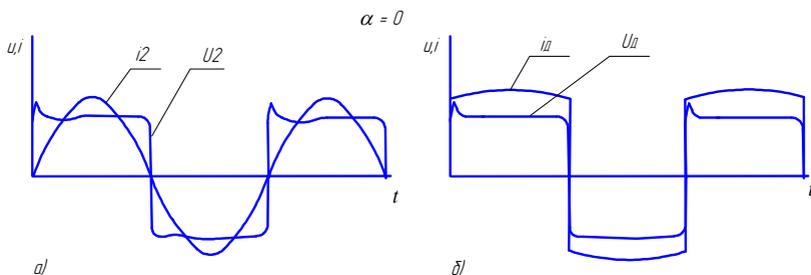


Рис. 2.5. Зависимость тока и напряжения: *a* — до тиристорного моста; *б* — после тиристорного моста

Форма тока, преобразованного тиристорным коммутатором, показана на рис. 2.5, б. Управление тиристорным мостом осуществляется через блок  $A_2$ .

Дроссель насыщения  $L_1$  позволяет регулировать величину тока сварки за счет изменения в нем тока управления  $I_y$  и формирует крутопадающую внешнюю вольт-амперную характеристику установки.

Сварка неплавящимся электродом алюминия и его сплавов начинается с начального возбуждения дуги без касания изделия электродом. Для этой цели используют специальное устройство  $A_4$ , включенное в сварочную цепь последовательно с дугой. Ионизация дугового промежутка происходит в течение одной секунды с момента включения устройства.

Прямоугольная форма переменного тока (рис. 2.5, б) дуги позволяет производить сварку без стабилизаторов дуги, так как обеспечивает высокую скорость перехода тока через нуль. В установках типа ТИР (ИСВУ-80) стабилизаторы дуги можно не использовать.

Источник питания работает в режимах холостого хода (х. х.), нагрузки (Н1–Н5), короткого замыкания (к. з.). Технологическими условиями при сварке алюминиевых сплавов короткие замыкания не допускаются.

Для источников этого типа режимы нагрузки и короткого замыкания по величине тока отличаются мало.

## Указания и пояснения по выполнению работы

1. Подготовить таблицу 2.
2. Составить функциональную схему ТИР-300 (ИСВУ-80).
3. Собрать силовую схему установки.

**Внимание! Получить разрешение на включение установки у преподавателя. Только после этого включить установку!!!**

4. Провести исследование установки для трех значений  $I_y$  дросселя  $L_1$  и записать результаты измерений в табл. 2. В качестве нагрузки использовать дугу или активное сопротивление (подбирая замыкающими ножами балластного реостата РБ-300 сопротивление, чтобы выполнялось условие  $U_2 \approx U_d$ ).
5. Построить графики  $U_2 = f(I_2)$  для трех значений регулятора тока сварки  $I_y$  и  $U_d = f(I_d)$  (рис. 1.5) в одних координатных осях.
6. Рассчитать КПД для точек устойчивого равновесия системы (5).
7. Снять зависимость  $i_d = f(t)$ .

### Содержание отчета

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электрическая схема поста и функциональная схема установки.
5. Заполненные таблицы 2, 3.
6. Зависимости  $U_2 = (I_2)$  для трех значений  $I_y$  и  $U_d = f(I_d)$ .
7. Выводы по работе.

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов

$I_y, A$	Ре-жим	Измерение					Расчет			
		$U_1, B$	$I_1, A$	$U_2, B$	$I_2, A$	$I_o, A$	$\frac{P_1^*}{B \cdot A}$	$\frac{P_2^*}{B \cdot A}$	$h$	$\frac{BAX}{B/A}$
$I_{y1}$	XX									
min	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
	K3									

$I_y, A$	Ре- жим	Измерение					Расчет			
		$U_1, B$	$I_1, A$	$U_2, B$	$I_2, A$	$I_0, A$	$\frac{P_1^*}{B \cdot A}$	$\frac{P_2^*}{B \cdot A}$	$h$	ВАХ, B/A
$I_{v2}$	XX									
сред.	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
	K3									
$I_{v3}$	XX									
max	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
	K3									

$$*P_1 = U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1, P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2; \cos \varphi_1 \approx \cos \varphi_2 \approx 0,48-0,5.$$

Таблица 3

### Комплектность сварочного поста (*пример*)

№ п/п	Наименование устройства, узла	Количество
1	Сварочная установка типа...	1
2	Осциллятор типа ОСПЗ-300	1
3	Сварочный автомат (полуавтомат)	1
4	Сварочная горелка (держак, держатель со шлангом)	1
5	Подающий механизм	1
6	Баллон с защитным газом (аргон, углекислый газ)	1

### Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит установка ТИР-300 (ИСВУ-80)?
2. Какой внешней ВАХ обладает установка и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен  $K_{рег}$ ?

4. Какие значения КПД получены в работе?
5. Какие материалы можно сваривать с помощью ТИР-300 (ИСВУ-80)?
6. Какие недостатки конструкции вы обнаружили?

## **Лабораторная работа 14** **Исследование установки переменного тока** **прямоугольной формы МПУ-4**

### **Цель работы**

Изучить работу установки для микроплазменной сварки на переменном токе прямоугольной формы и приобрести навыки его аттестации.

### **Оборудование и приборы**

Установка МПУ-4, горелка УСДС.Р-45 (рис. 2.6), стенд.

Приборы:  $pA_1$ ,  $pA_2$  – амперметры;  $pV_1$ ,  $pV_2$  – вольтметры;  $RS$  – измерительные шунты;  $P$  – осциллограф.

### **Программа работы**

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить конструкцию установки МПУ-4, принципиальную схему подключения и определить способ регулирования сварочного тока.
3. Составить функциональную схему установки.
4. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
5. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в разных режимах (холостой ход, нагрузка, короткое замыкание). Заполнить табл. 4.
6. Снять зависимости  $u(t)$  или  $i(t)$  осциллографом.
7. Построить графики, провести расчеты и сделать выводы.
8. Оформить отчет о работе.

## Описание установки МПУ-4

### *Назначение*

Установка МПУ-4 предназначена для микроплазменной сварки цветных тяжелых металлов, титановых сплавов и сталей на переменном токе прямоугольной формы и постоянном токе неплавящимся электродом в защитной среде газа (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Внешний вид оборудования:  
а – установка МПУ-4; б – горелка

### *Работа схемы установки и описание конструкции*

В состав установки входят следующие узлы (рис. 2.7):

- трехфазный сварочный трансформатор  $T_1$ ;
- сварочный выпрямитель  $V_1$ ;
- прерыватель тока  $V_2$ ;
- сварочный выпрямитель  $V_3$ ;
- активное сопротивление  $R_1$ ;
- устройство для начальной ионизации дуги  $A_4$ .

Источник питания сварочного тока образуют трансформатор  $T_1$  ( $W_1, W_2, W_4$ ), выпрямитель  $V_1$  и тиристор  $V_2$ .

Трехфазный сварочный трансформатор  $T_1$  с подвижными обмотками понижает напряжение сети  $U_1$  с 380 В до 80 В. Вторичные обмотки сварочного трансформатора  $W_2$  перемещаются относительно первичных неподвижных обмоток  $W_1$ . Перемещение вторичных обмоток производит двигатель через редуктор, ходовой винт и гайку, жестко соединенные с подвижными обмотками. С подвижными

обмотками тросиком соединен отсчетный барабан, указывающий установленный ток сварки при негорящей дуге.

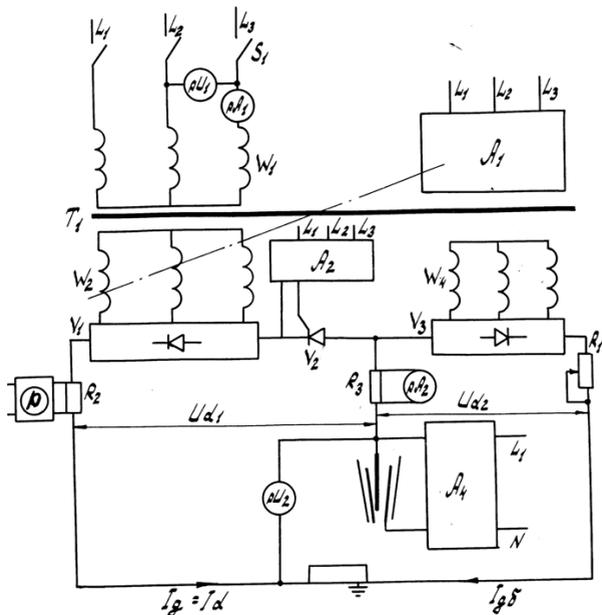


Рис. 2.7. Принципиальная схема установки МПУ-4

Падающую вольт-амперную характеристику формирует трансформатор.

Трехфазная схема выпрямления тока  $V_1$  собрана на диодах.

Последовательно с выпрямителем  $V_1$  включен тиристор  $V_2$ , который вместе со схемой управления  $A_2$  выполняет функции прерывателя тока, формируя длительность, паузу и частоту следования импульсов  $f \leq 25$  Гц.

Вспомогательный источник или источник дежурной дуги состоит из  $T_1$  ( $W_1, W_4$ ) и выпрямителя  $V_3$ , собранного на диодах. Вспомогательный источник работает в непрерывном режиме, обеспечивая ионизацию дугового промежутка в паузы при отсутствии сварочного тока. Ток  $I_{дд}$  регулируется  $R_1$  от 1 до 5 А.

Начальное возбуждение дуги с  $W$  электрода на сопло производится осциллятором.

Аппаратура управления, сигнализации, приборы измерения размещены на передней панели и снабжены подсветкой.

В комплект поставки установки входит горелка.

### **Указания и пояснения по выполнению работы**

1. Подготовить таблицу 4.
2. Составить функциональную схему МПУ-4.
3. Собрать силовую схему установки.

**Внимание! Получить разрешение на включение установки у преподавателя. Только после этого включить установку!!!**

4. Провести исследование установки при трех положениях вторичных обмоток трансформатора и записать результаты измерений в табл. 4. В качестве нагрузки использовать дугу или активное сопротивление (подбирая замыкающими ножами балластного реостата РБ-300 сопротивление, чтобы выполнялось условие  $U_2 \approx U_d$ ).
5. Построить графики:  $U_2 = f(I_2)$  для трех положений вторичных обмоток  $T_1$  и  $U_d = f(I_d)$  (рис. 1.5) в одних координатных осях.
6. Рассчитать КПД (5) для точек устойчивого равновесия системы.
7. Снять зависимость  $i_d = f(t)$ .

### **Содержание отчета**

1. Титульный лист (прил.).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электрическая схема поста и функциональная схема установки.
5. Заполненные таблицы 4, 5.
6. Зависимости  $U_2 = f(I_2)$  (для трех положений  $W_2 T_1$ ) и  $U_d = f(I_d)$ .
7. Выводы по работе.

Таблица 4

## Результаты измерений и расчетов

$\varepsilon$ , мм	Режим	Измерение					Расчет			
		$U_1$ , В	$I_1$ , А	$U_2$ , В	$I_2$ , А	$I_0$ , А	$\frac{P_1^*}{B \cdot A}$	$\frac{P_2^*}{B \cdot A}$	$h$	$\frac{BAX}{B/A}$
$\varepsilon_1$	XX									
	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
КЗ										
$\varepsilon_2$	XX									
	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
КЗ										
$\varepsilon_3$	XX									
	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
КЗ										

$$*P_1 = U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1, P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2; \cos \varphi_1 \approx \cos \varphi_2 \approx 0,48-0,5.$$

Таблица 5

## Комплектность сварочного поста (пример)

№ п/п	Наименование устройства, узла	Количество
1	Сварочная установка типа...	1
2	Осциллятор типа...	1
3	Сварочный автомат (полуавтомат)	1
4	Сварочная горелка...	1
5	Баллон с защитным газом (аргон, углекислота)	1

### Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит установка МПУ-4?
2. Какой внешней ВАХ обладает установка и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен  $K_{\text{РЕГ}}$ ?
4. Какие значения КПД получены в работе?
5. Какие материалы можно сваривать с помощью МПУ-4 на переменном токе?
6. Какие недостатки конструкции вы обнаружили?

## Лабораторная работа 15 Исследование установки для сварки трехфазной свободной дугой УДГТ-314

### Цель работы

Изучить работу схемы трехфазного источника питания переменного тока для сварки алюминиевых сплавов неплавящимися электродами и приобрести навыки аттестации оборудования для сварки.

### Оборудование и приборы

Установка УДГТ-314, горелка ГРТ-5 (рис. 2.8), стенд.

Приборы:  $pA_1, pA_2, pA_3, pA_4$  – амперметры;  $pV_1, pV_2$  – вольтметры;  $T_3, T_4, T_5$  – трансформаторы тока.

### Программа работы

1. Изучить конструкцию установки, способ регулирования сварочного тока и формирования внешней ВАХ.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в разных режимах: на холостом ходу, под нагрузкой, при коротком замыкании. Заполнить табл. 6.
4. Построить графики, провести расчеты и сделать выводы по работе.



Рис. 2.8 – Внешний вид оборудования:

*a* – установки УДГТ-314; *б* – горелка ГРТ-5 для РДС

### Описание установки УДГТ-314

#### *Назначение*

Установка питания трёхфазной дуги типа УДГТ-314 предназначена для ручной сварки трехфазной дугой неплавящимися электродами в защитной среде газа.

#### *Работа схемы установки УДГТ-314*

Установку УДГТ-314 (рис. 2.9) функционально разбиваем на блоки:

- силовой блок (сварочные трансформаторы  $T_1, T_2$ );
- схема управления током  $A_2$ ;
- блок конденсаторов  $C$  (рис. 2.9).

Трёхфазный сварочный трансформатор с витым магнитопроводом  $T_1, T_2$ , обмотки которого по первичной и вторичной сторонам включены открытым треугольником, образует силовой блок установки. При несимметричной схеме включения обмоток трансформатора соотношение токов в сварочной цепи  $I_a = I_b, I_c = \sqrt{3}I_a$  (рис. 2.10), что расширяет технологические возможности установки, позволяя за счет большего тока в изделии ( $I_c = 1,73I_a$ ) вести разогрев свариваемой детали.

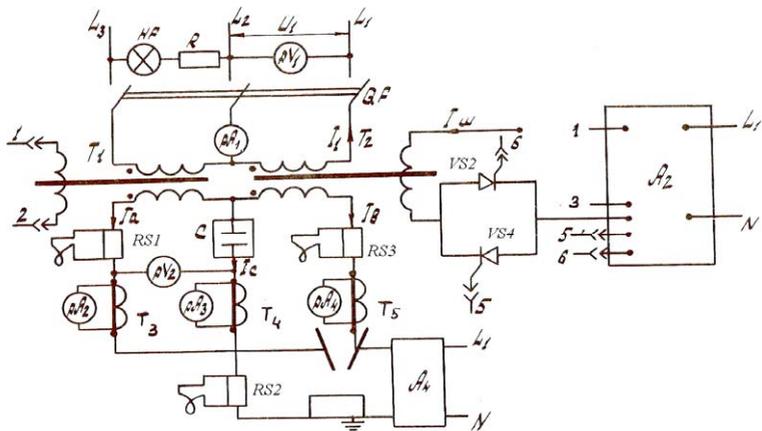


Рис. 2.9. Принципиальная схема установки УДГТ-314 для сварки 3-фазной дугой

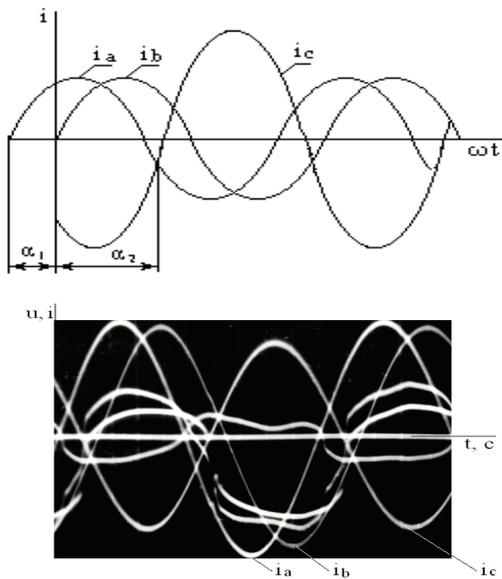


Рис. 2.10. Динамические характеристики 3-фазной дуги при сварке вольфрам-алюминия в аргоне

В установке УДГТ-314 с помощью редуктора вторичные обмотки трансформатора перемещаются в пространстве относительно первичных, за счет чего изменяются потоки рассеяния  $\Phi_s$ , а следовательно, ток и наклон внешней вольт-амперной характеристики. Схема управления сосредоточена в блоке  $A_2$ .

Уничтожение постоянной составляющей тока производится блоком конденсаторов  $C$ , величина емкости рассчитывается из условия: 300 мФ на 1 А сварочного тока. Такой выбор гарантирует  $I_0 = 0$  во всем диапазоне изменения сварочного тока.

### **Указания и пояснения по выполнению работы**

1. Подготовить таблицу 6.
2. Составить функциональную схему установки УДГТ-314.
3. Собрать силовую схему установки.

**Внимание! Получить разрешение на включение установки у преподавателя. Только после этого включить установку!!!**

4. Провести исследование установки для трех положений вторичных катушек  $T_1, T_2$  в пространстве и записать результаты измерений в табл. 6. В качестве нагрузки использовать дугу или активное сопротивление, подбирая замыкающими ножами балластного реостата РБ-300 сопротивление, чтобы выполнялось условие  $U_2 \approx U_d$ .
5. Построить графики:  $U_2 = f(I_2)$  для трех положений вторичных катушек и  $U_d = f(I_d)$  в одних координатных осях.
6. Рассчитать КПД (5) для точек устойчивого равновесия системы.
7. Снять зависимость  $i_d = (t)$ .

### **Содержание отчета**

1. Титульный лист (прил. 1).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электрическая схема поста и функциональная схема установки.
5. Заполненная таблица 6.
6. Зависимости  $U_2 = (I_2)$  для трех значений  $\epsilon$  и  $U_d = f(I_d)$ .
7. Выводы по работе.

## Результаты измерений и расчетов

$\varepsilon$ , мм	Режим	Измерение					Расчет			
		$U_{1A}$ , В	$I_{1A}$ , А	$U_{2A}$ , В	$I_{2A}$ , А	$I_0$ , А	$\frac{P_1^*}{B \cdot A}$	$\frac{P_2^*}{B \cdot A}$	h	ВАХ, В/А
$\varepsilon_1$	XX									
	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
КЗ										
$\varepsilon_2$	XX									
	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
КЗ										
$\varepsilon_3$	XX									
	H1									
	H2									
	H3									
	H4									
	H5									
КЗ										

$$*P_1 = U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1, P_2 = U_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2; \cos \varphi_1 \approx \cos \varphi_2 \approx 0,48-0,5.$$

**Вопросы для самоконтроля**

1. Из каких узлов состоит установка УДГТ-314?
2. Какой внешней ВАХ обладает установка и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен  $K_{\text{рег}}$ ?
4. Какие значения КПД получены в работе?
5. Какие материалы можно сваривать с помощью УДГТ-314?
6. Какие недостатки конструкции вы обнаружили?

## Лабораторная работа 16

### Исследование установки для точечной сварки сжатой трехфазной дугой УДГТ-150У2

#### Цель работы

Изучение принципа работы установки УДГТ-150У2 для точечной сварки алюминиевых сплавов трехфазной сжатой дугой неплавящимися вольфрамовыми электродами в среде защитного газа.

#### Оборудование и приборы

Установка УДГТ-150У2 (рис. 2.11), лабораторный стенд.

Приборы:  $pA_1, pA_2, pA_3$  – амперметры;  $T_3, T_4$  – трансформаторы тока;  $pV_1, pV_2, pV_3$  – вольтметры;  $RS_1, RS_2, RS_3$  – измерительные шунты;  $P$  – осциллограф С1-55;  $R_1, R_2, R_3$  – активные сопротивления.

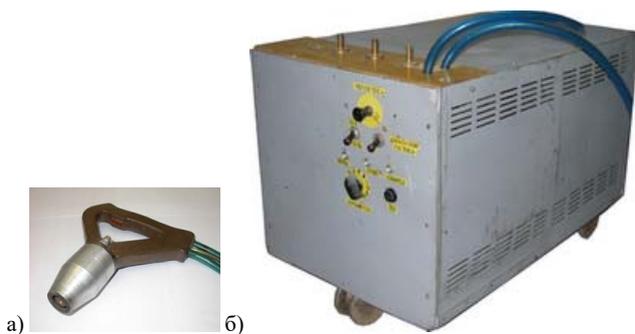


Рис. 2.11. Внешний вид оборудования: *а* – плазматрон для точечной сварки; *б* – установка типа УДГТ-150У2

#### Программа работы

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить конструкцию сварочной установки, принципиальную схему подключения и определить способ регулирования сварочного тока.
3. Составить функциональную блок-схему установки.
4. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.

5. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока и нескольких режимах (холостой ход, балластный реостат, короткое замыкание, сварка). Заполнить табл. 7.
6. Построить графики, провести расчеты и сделать выводы.

## **Описание установки УДГТ-150У2**

### *Назначение*

Установка типа УДГТ-150У2 предназначена для ручной и автоматической точечной сварки алюминиевых сплавов толщиной до 4 мм сжатой трехфазной дугой неплавящимися вольфрамовыми электродами в среде защитных газов.

### *Принцип работы установки*

Выделим в схеме установки отдельные узлы (рис. 2.12):

- силовой блок (сварочные трансформаторы  $T_1, T_2$ );
- схема управления временем сварки  $A_1$ ;
- блок начального возбуждения дуги – осциллятор  $A_2$  (отключен);
- прерыватели тока  $VS_1, VS_2$ ; переключатель –  $S_2$ .

Сварочные трансформаторы  $T_1, T_2$  с разнесенными обмотками, которые по первичной и по вторичной сторонам включены по схеме открытого треугольника, образуют силовой блок (рис. 2.12). Трансформаторы изготовлены с витым магнитопроводом, изогнутым в прямоугольную форму.

В сварочной цепи при выбранной схеме включения обмоток устанавливаются соотношения тока  $I_A = I_B, I_C = \sqrt{3} \cdot I_A$  (рис. 2.10).

Схема управления  $A_1$  включает формирователь импульсов для управления работой прерывателя на тиристорах  $VS_1, VS_2$ , включенных в среднюю фазу; триггер на полупроводниковых элементах регулирует длительность импульса тока.

Стабилизация повторных возбуждений дуги происходит без дополнительных устройств, так как при сварке трехфазной дугой в каждый момент времени горят две дуги: W-Al и W-W или W-Al, W-Al. Межэлектродная дуга W-W выполняет функцию стабилизатора дуги (рис. 2.13).

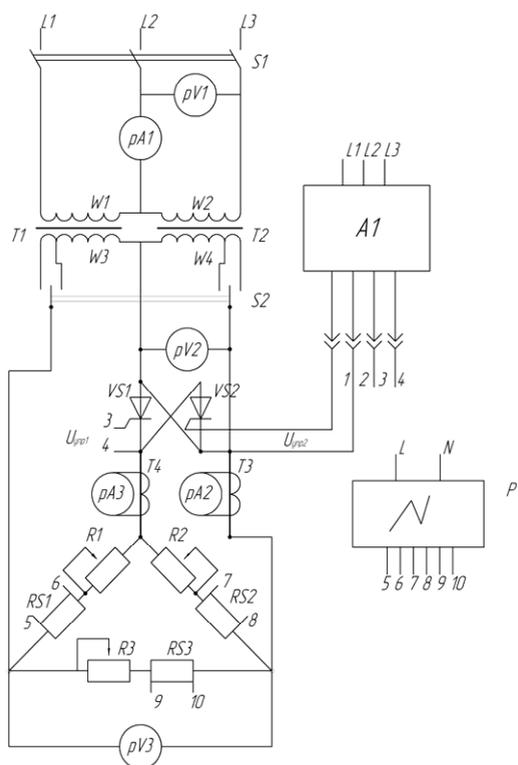


Рис. 2.12. Принципиальная схема установки для точечной сварки 3-фазной дугой:  $T_1, T_2$  – сварочные трансформаторы;  $VS_1, VS_2$  – прерыватели тока;  $A_1$  – блок управления временем сварки;  $P$  – осциллограф;  $R_1, R_2, R_3$  – нагрузка

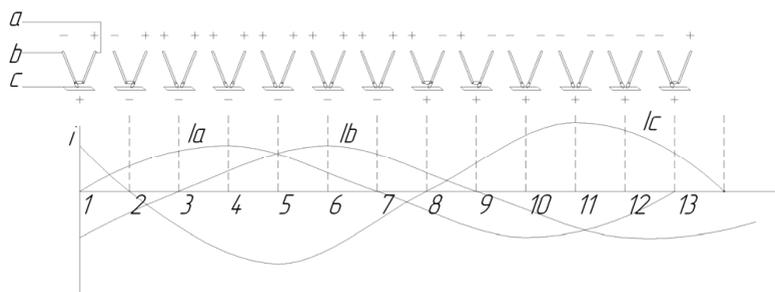


Рис. 2.13. Схема горения трехфазной дуги

Сжатие трехфазной дуги происходит внутри двухэлектродного плазмотрона специальной конструкции (рис. 2.14). Ионизированный поток плазмы, вырываясь из сопла, осуществляет точечное расплавление свариваемых внахлест деталей. В качестве нагрузки в лабораторной работе с этой установкой используется специальная схема из активных резисторов  $R_1, R_2, R_3$ , включенных треугольником (рис. 2.12), сопротивления которых равны сопротивлению дуги  $R_1 = R_2 = R_{д1} = R_{д2} = 0,144 \text{ Ом}$ , а  $R_3 = R_{д3} = 0,1 \text{ Ом}$ .

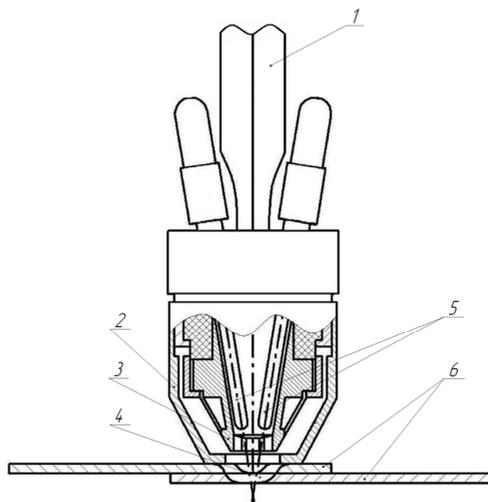


Рис. 2.14. Двухэлектродный плазмотрон:  
 1 – ручка; 2 – опорное сопло; 3 – основное сопло; 4 – сварная точка;  
 5 – электроды; 6 – свариваемые детали

### Указания и пояснения по выполнению работы

1. Подготовить табл. 7. Составить функциональную схему установки.
2. Собрать силовую схему установки.
3. Произвести замеры токов и напряжений в режиме холостого хода, пяти значений нагрузок балластного реостата, принудительно изменяя их величины, короткого замыкания и сварки. Записать результаты измерений в табл. 7.

4. Построить в одних осях графики вольт-амперных характеристик  $U_{AB} = f(I_A)$ ;  $U_{AC} = f(I_C)$ ;  $U_{BC} = f(I_C)$  для пяти значений  $R_1, R_2, R_3$  по результатам исследования.

**Внимание! Перед возбуждением дуги включить водяное охлаждение и плазмообразующий защитный газ. Получить разрешение у преподавателя.**

5. Произвести зажигание межэлектродной дуги графитовым стержнем с изолированной ручкой, выполнить сварку образцов (режим задается преподавателем), снять показания, записать в табл. 7 и сделать выводы.
6. Составить комплектность сварочного поста с установкой и заполнить табл. 8.

### Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электрическая и функциональная блок-схемы установки.
5. Заполненные таблицы 7, 8.
6. Зависимости  $U_{AB} = f(I_A)$ ;  $U_{AC} = f(I_C)$ ;  $U_{BC} = f(I_C)$ .
7. Выводы.

Таблица 7

Результаты измерений и расчетов

Активные сопротивления	Режим	Измерение						Расчет	
		$U_1, В$	$I_1, А$	$U_2, В$	$U_3, В$	$I_2, А$	$I_3, А$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$
$R_1, R_2, R_3$	XX								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	К3								
	Сварка								
$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$ ; $P_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$ ; $\cos \varphi_1 \approx \cos \varphi_2 \approx 0,48 - 0,5$									

## Комплектность сварочного поста

№ п/п	Наименование устройства	Количество
1	Сварочная установка типа...	1
2	Осциллятор типа...	1
3	Плазмотрон...	1

**Вопросы для самоконтроля**

1. Как формируется внешняя вольт-амперная характеристика установки?
2. Как регулируется величина мощности дуги и тока сварки?
3. Как производится стабилизация повторных возбуждений дуги при точечной трехфазной сварке алюминиевых сплавов сжатой дугой неплавящимися вольфрамовыми электродами в защитной среде газов?
4. Каким способом происходит ионизация дугового промежутка в начале сварки от данной установки?
5. Уничтожается ли постоянная составляющая тока при трехфазной сварке сжатой дугой в среде защитного газа?
6. Каким образом регулируется время сварки?
7. Особенности трехфазной сжатой дуги переменного тока при точечной сварке неплавящимися вольфрамовыми электродами в среде защитного газа.

## Библиографический список

1. Милютин, В.С. Источники питания для сварки / В.С. Милютин, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров. — М. : Айрис Пресс, 2007. — 279 с.
2. Оборудование для дуговой сварки / под ред. В.В. Смирнова. — Л. : Энергоиздат, 1986. — 656 с.
3. Браткова, О.Н. Источники питания сварочной дуги / О.Н. Браткова. — М. : Высшая школа, 1982. — 181 с.
4. Короткова, Г.М. Источники питания для сварки / Г.М. Короткова. — Куйбышев : КуАИ, 1980. — 55 с.
5. Короткова, Г.М. Сварочные трансформаторы, установки, выпрямители : методические указания к лабораторным работам / Г.М. Короткова. — Тольятти : ТолПИ, 1988. — 88 с.
6. Короткова, Г.М. Источники питания для сварки / Г.М. Короткова, Р.А. Цепенев. — Куйбышев : КуАИ, 1978. — 40 с.
7. Короткова, Г.М. Технология и оборудование для сварки трехфазной дугой неплавящимся электродом : учеб. пособие / Г.М. Короткова, В.И. Столбов. — Куйбышев : КуАИ, 1984. — 85 с.

*Образец оформления титульного листа*

Тольяттинский государственный университет  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением  
и родственные процессы»

ОТЧЕТ  
по лабораторным работам  
по дисциплине  
Источники питания для сварки

Студент: Иванов И.И.  
Группа: МСб-1602  
Преподаватель: Моторин К.В.

Тольятти 2019