

**МПС РОССИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

---

**29/25/10**

**Одобрено кафедрой  
«Железнодорожный путь,  
машины и оборудование»**

## **СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

**Руководство по выполнению лабораторных работ  
с методическими указаниями  
для студентов IV курса  
специальности  
150800. ВАГОНЫ (В)**



**Москва – 2003**

Рецензент — канд. техн. наук, доц. Е.Г. ЗАРЕМБО

© Российский государственный открытый технический университет путей сообщения Министерства путей сообщения Российской Федерации, 2003

## РАБОТА № 1

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА И ЕЕ СВОЙСТВА

1. Изучить и зарисовать схему процесса зажигания дуги.
2. Изучить статическую вольт-амперную характеристику дуги.
3. Провести эксперимент и начертить зависимость напряжения дуги ( $U_d$ ) от ее длины ( $L_d$ ).
4. Подсчитать полную и эффективную тепловую мощность сварочной дуги.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Дуга — мощный стабильный разряд электричества в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. Процесс зажигания дуги включает три этапа:

- короткое замыкание электрода на заготовку;
- отвод электрода на 3–6 мм;
- возникновение устойчивого дугового разряда.

Короткое замыкание выполняется для разогрева торца электрода и заготовки. После отвода электрода с его разогретого торца начинается термоэлектронная эмиссия электронов. Столкновение с молекулами газов воздуха приводит к ионизации межэлектродного промежутка, разогреву его и электрической проницаемости. Процесс зажигания заканчивается возникновением устойчивого электрического разряда.

Необходимо зарисовать трехстадийную схему процесса зажигания дуги в режиме прямой полярности: на электроде — минус (катод), на детали — плюс (анод) (рис. 1).

2. Электрические свойства дуги описываются статической вольт-амперной характеристикой, которая представляет собой зависимость между напряжением и током дуги в состоянии устойчивого горения. Характеристика состоит из трех участков. I — характеристика падающая, II — жесткая, III — возрастающая. Чаще применяется дуга с жесткой

и возрастающей характеристикой. Каждому участку дуги соответствует свой характер переноса расплавленного электрического металла в сварочную ванну: I и II — крупнокапельный, III мелкокапельный или струйный.

Необходимо зафиксировать в табл. 1 результаты измерений параметров дуги ( $U_d$ ,  $J_d$ ) и начертить по этим данным вольт-амперную характеристику дуги (табл. 2).

3. Для дуги с жесткой характеристикой напряжение  $U_d$  пропорционально ее длине:

$$U_d = \alpha + \beta L_d, \quad (1)$$

где  $L_d$  — длина дуги ( $0 < L_d < 8 < 8$  мм)  $\alpha$  и  $\beta$  эмпирические коэффициенты (для стальных электродов  $\alpha = 10$  В,  $\beta = 2$  В/мм). Из приведенной зависимости следует, что для сохранения напряжения дуги неизменным необходимо длину дуги поддерживать постоянной.

Полная тепловая мощность дуги определяется:

$$Q = K J_{св} U_d, \text{ Дж/с}, \quad (2)$$

где  $K$  — коэффициент несинусоидальности (для постоянного тока  $K=1$ , для переменного  $K=0,7-0,97$ );

$J_{св}$  — сварочный ток, А;

$U_d$  — напряжение дуги, В.

Эффективная тепловая мощность сварочной дуги выражается как:

$$q = \eta Q, \quad (3)$$

где  $\eta$  — К.П.Д. дуги  $\eta = 0,9$  (автоматическая сварка под флюсом),  $0,7$  (электрошлаковая),  $0,8$  (ручная дуговая),  $0,6$  (в защитных газах).

Необходимо зафиксировать в табл. 3 зависимость экспериментных значений  $U_d$  от ее длины  $L_d$  и сравнить с расчетными данными, рассчитанными по формуле 1. Вычертить график (рис. 2) зависимости напряжения дуги ( $U_d$ ) от ее длины ( $L_d$ ). Рассчитать полную и эффективную тепловые мощности дуги на жестком участке вольт-амперной характеристики.

# ОТЧЕТ

1. Схема процесса зажигания дуги.

Рисунок 1

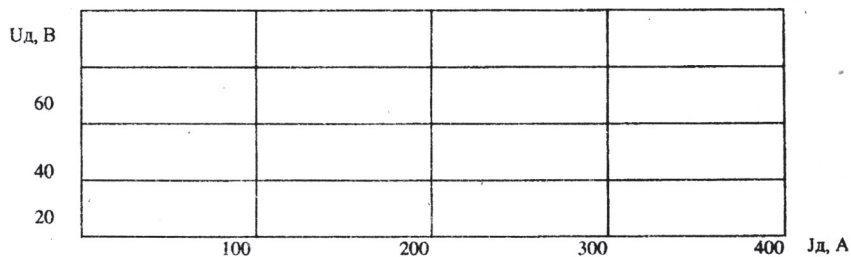
2. Результаты измерений параметров дуги (Уд, Лд).

Таблица 1

Лд										
Уд										

3. Вольт-амперная характеристика дуги.

Таблица 2



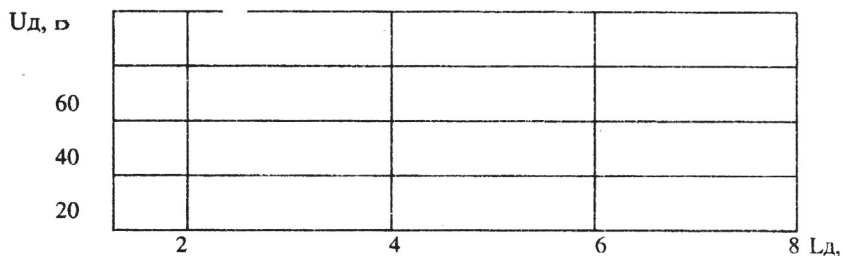
4. Результаты экспериментальных и расчетных параметров длины дуги.

Таблица 3

Лд (эсп.)									
Уд									
Лд (расч.)									

5. Зависимость длины дуги ( $L_d$ ) от напряжения дуги ( $U_d$ ).

Рисунок 2



6. Расчетные параметры длины дуги.

7. Полная и эффективная тепловые мощности дуги.

8. Выводы

---

---

---

---

---

Дата      Подпись студента      Подпись преподавателя

## РАБОТА № 2

### ИСТОЧНИКИ СВАРОЧНОГО ТОКА И ИХ ХАРАНТЕРИСТИКИ

#### ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с устройством источника сварочного тока (сварочным трансформатором) и способами регулирования силы тока.
2. Начертить принципиальную схему источника сварочного тока на основе трехфазного выпрямителя.
3. Снять и построить внешнюю характеристику источника сварочного тока.

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и источники постоянного тока (сварочные выпрямители и генераторы). Трансформаторы имеют большой К П Д, но при использовании малых токов при переменном напряжении горение дуги неустойчиво, так как каждые 0,01 с напряжение и ток проходят через нулевые значения.

Необходимо зарисовать (рис. 1), объяснить схему действия сварочного трансформатора, взаимодействие магнитных потоков и получение падающей вольт-амперной характеристики. Заполнить табл. 1.

2. Сварочные выпрямители состоят из трехфазного понижающего трансформатора и выпрямительного блока. Падающая внешняя характеристика обеспечивается повышенным индуктивным сопротивлением понижающего трансформатора, у которого первичная и вторичная обмотки размещены на разных концах магнитопровода.

Необходимо вычертить (рис. 2) принципиальную схему трехфазного выпрямителя и описать его действие, и заполнить табл. 2.

3. Напряжение источника тока уменьшается с увеличением сварочного тока и пересекает в точках 1, 2 характеристику дуги. В точке 1 происходит возбуждение дуги, в точке 2 происходит устойчивое горение. В точке 3 происходит короткое замыкание и разогрев электрода.

Необходимо снять и построить внешнюю вольт-амперную характеристику источника питания (рис. 3). Заполнить табл. 3.

### ОТЧЕТ

1. Принципиальная схема сварочного трансформатора с падающей вольт-амперной характеристикой

Рисунок 1

2. Основные технические данные сварочного трансформатора

Таблица 1

Тип источника питания	Первичное напряжение, В	Вторичное напряжение, В

3. Принципиальная схема трехфазного сварочного выпрямителя

Рисунок 2



4. Основные технические параметры трехфазного сварочного выпрямителя

Таблица 2

Тип выпрямителя	Напряжение, В			Сварочный ток	
	сети	рабочее	хол. хода	номинальный	Пределы регулирования

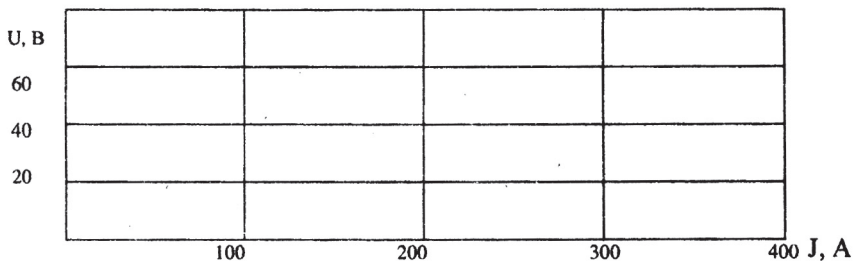
5. Результаты измерений внешней характеристики трансформатора

Таблица 3

Номер замера	Режимы трансформатора					
	Холостой ход, В		Напряжение, В		Короткое замыкание, В	
1.	U	J	U	J	U	J
2.						
3.						

6. Внешняя характеристика сварочного источника питания

Рисунок 3



7. Выводы

---



---



---



---

Дата      Подпись студента      Подпись преподавателя

## РАБОТА № 3

### РЕЖИМ И ТЕХНИКА РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

1. Изучить и зарисовать схему движения электрода при сварке встык двух пластин с разделкой кромок.
2. Обосновать и выбрать тип электрода в зависимости от толщины свариваемых листов и состава стали.
3. Определить расчетным путем величины тока  $I_{св}$ , коэффициент расплавлений  $\alpha_p$ , коэффициент потерь  $\psi$ , норму расхода электродов  $G_{эл}$  и расход электроэнергии  $A$ .

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Режим электродуговой сварки зависит от величины сварочного тока, диаметра электрода, его марки и положения в пространстве, толщины и состава свариваемого металла, рода тока и типа соединений.

Зависимость между толщиной металла и диаметром электрода приведена в табл. 1. Зависимость между силой тока и диаметром электрода определяется как

$$I_{св} = K d_3, \quad (1)$$

где  $I_{св}$  — сила тока ампер;  
 $d_3$  — диаметр электрода в мм;  
 $K$  — поправочный коэффициент.

Для углеродистой стали  $K=40+50$  а/мм;

Масса расплавленного металла пропорционально коэффициенту расплавления,  $\alpha_p$ , г/а·ч.:

$$\alpha_p = \frac{G_p}{I_{св} \tau_{св}} 3600, \quad (2)$$

где  $G_p$  — масса расплавленного электрода, г;  
 $I_{св}$  — сварочный ток, А;  
 $\tau_{св}$  — время сварки, сек.

Масса расплавленного электрода определяется как разница объемов (масс) между первоначальной длиной электрода и остатком (длиной огарка)

$$G_c = \frac{\pi d^2}{4} (L_n - L_o) \rho, \quad (3)$$

где  $d$  — диаметр электродов, см;  
 $L_n$  — первоначальная длина электрода, см;  
 $L_o$  — длина остатка, см;  
 $\rho$  — плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

Для углеродистой стали  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>.

Коэффициент потерь на угар и разбрызгивание определяется как:

$$\Psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $G_p$  — масса расплавленного металла, г;  
 $G_n$  — масса свариваемых (наплавляемых) пластин до и после сварки (наплавки), г.

$G_n$  определяется опытным путем посредством взвешивания деталей до и после процесса сварки (наплавки).

Норма расходов электродов:

$$G_{эл} = K_p \cdot G_n, \quad (5)$$

где  $K_p = (1,6 - 1,7)$ .

Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла, кВт-ч/кг

$$A = \frac{U_{св} I_{св} \tau \cdot 10^3}{3600 G_n}, \quad (6)$$

где  $U_{св}$  — напряжение дуги, В. Принять 30 В;  
 $I_{св}$  — сварочный ток, А;  
 $G_n$  — масса наплавленного металла, гр.

## ОТЧЕТ

### 1. Схема движения электрода при сварке

Рисунок 1

### 2. Выбор типа и диаметра электрода

Таблица 2

Толщина листов, мм	1-3	3	4-5	6-12	$\geq 12$
Диаметр электрода, мм	1,5-2,5	3	3-4	4-5	5

### 3. Характеристики выбранного электрода для сварки углеродистой стали

Таблица 2

Тип электрода	Марка обмазки	Полярность	Диаметр электрода, мм	Длина, см	
				электрода	огарка

### 4. Расчет параметров $I_{св}$ , $\alpha_p$ , $G_p$ , $\psi$ , $G_{эл}$ , $A$ :

## 5. Расчетные параметры сварки

Таблица 3

$I_{св}$	$U_{д}, В$	$\tau_{св}, сек$	$\alpha_p, г/А^2ч$	$G_p, г$	$G_{ц}, г$	$\Psi, \%$	$G_{зп}, кг$	$A, кВт\cdot ч/кг$

## 6. Выводы

---

---

---

---

---

Дата      Подпись студента      Подпись преподавателя

## **РАБОТА № 4**

### **ЗОНА ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ И СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ**

1. Ознакомиться с особенностями термического цикла сварки.

2. Зарисовать и сопоставить с температурной шкалой изменение структуры углеродистой стали в зоне термического влияния (ЗТВ) при сварке.

3. Определить распределение твердости материала в поперечном сечении сварного соединения.

#### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Металл, находящийся вблизи сварочного шва, претерпевает структурные изменения вследствие температурного воздействия на него в процессе сварки. При сварке имеет место окисление, азотирование металла, выгорание легирующих примесей. Особенностью металлургических процессов при сварке являются высокие температуры и кратковременность процесса. Процесс сварки плавлением сопровождается образованием растворов, химических соединений, процессов кристаллизации, изменением структуры близлежащих к месту сварки зон, появлению поверхностей раздела и изменению физико-механических свойств основного металла.

Управлять скоростью охлаждения металла в зоне термического влияния можно выбором параметров режимов сварки, подогревом свариваемого металла, а также средой, в которой осуществляется сварка.

Термический цикл сварки напрямую связан с энергетикой технологического процесса и физическими законами теплообмена, перехода лучистого теплообмена в конвективный с плавным замедлением скорости охлаждения.

Механические свойства сварного соединения напрямую связаны с формированием структуры как самого сварного шва, так и структурными изменениями в зоне термического влияния. По изменению механических свойств, например

твердости, прочности, можно оценить картину остаточных термических напряжений в зоне термического влияния.

При проведении лабораторных работ рекомендуется использовать приборы Бринелля, микротвердомер, готовые шлифы сварного соединения, само сварное соединение. Для микроструктурного анализа необходимо использовать металлографические микроскопы МИМ, НЕОФОТ, а также провести ознакомление с новейшими методами микроструктурного и микрорентгеноспектральных анализов сварных соединений.

### ОТЧЕТ

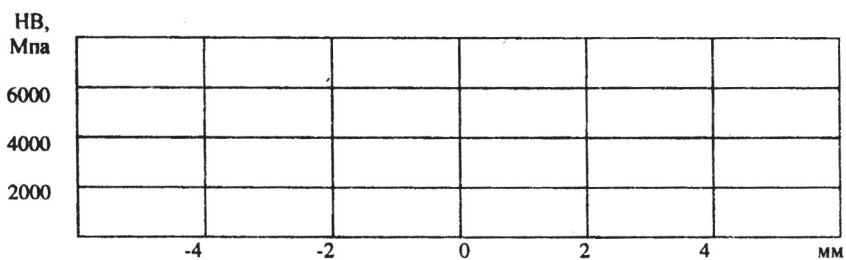
1. Термический цикл нагрева металла в зоне термического влияния при сварке

Таблица 1

$t^{\circ}, C$						
1200						
800						
400						
	20	40	60	80	100	сек

2. Схема строения, распределение температуры, характерные зонные изменения структуры в ЗТВ при сварке.

### 3. График изменения твердости металла в поперечном сечении сварного соединения



#### Выводы

---

---

---

---

---

Дата      Подпись студента      Подпись преподавателя



## РАБОТА № 5

### МЕХАНИЗИРОВАННАЯ НАПЛАВКА ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ Порошковой проволокой

#### ЗАДАНИЕ

1. Изучить цель и способы наплавки изношенных деталей и применяемые материалы.
2. Нарисовать схему механизированной наплавки поверхности детали с обозначением полярности.
3. Рассчитать основные параметры наплавки поверхности порошковой проволокой.

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В целях продления срока эксплуатации деталей, узлов и конструкций при капитальном и деповском ремонтах, а также при изготовлении запасных частей разрешается применять различные способы наплавки. К способам наплавки относятся автоматическая и механизированная наплавка под флюсом, порошковой проволокой, в среде защитных газов, ручная штучным электродом, плазменная, вибродуговая, газопорошковая, индукционная, лентой и др. В данной работе рассматривается ручная штучным электродом.

Наплавка и напыление имеют два основных назначения — восстановление изношенных поверхностей до первоначальных геометрических размеров и нанесение материалов, придающих рабочему слою деталей повышенные свойства.

Для наплавки применяют наплавочные, сварочные и порошковые электродные проволоки, электродные ленты, порошки, флюсы.

Необходимо нарисовать схему механизированной наплавки порошковой проволокой изношенной поверхности и рассчитать основные параметры наплавки:  $I_n$ ,  $U_d$ ,  $V_{под}$ ,  $V_n$ .

Расчет параметров режима наплавки.

1. Диаметр электродной проволоки  $d_3$  и износ детали (мм) подобрать из табл. 2.

Таблица 1

Износ детали, мм	2-3	3-4	4-5	5-6	
Диаметр проволоки, мм	2	2	3	5	

Характеристики некоторых порошковых проволок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Марка проволоки	Диаметр, мм	Производительность, кг/ч	Механические св-ва			
			$\sigma_v$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %	НВ
ПП-АН3	2,8; 3,0	5-9	500-650	440	20	240-260
ПП-АН7	2,4	4-7	500-650	440	20	320-380
СП 3	2,2-2,6	7-11	500-600	440	20	---//---
СП 9	2,8	1-13	600-750	540	18	---//---

2. Сварочный ток при наплавке проволокой сплошного сечения

$$I_{св} = \frac{\pi d^2 \alpha}{4} \alpha,$$

где  $d\alpha$  — диаметр проволоки, мм;

$\alpha$  — плотность тока, А/мм<sup>2</sup>,  $\alpha = 30+40$  А/мм<sup>2</sup>.

3. Зависимость напряжения дуги ( $U_d$ ) от  $I_n$  приведен в табл. 3.

Таблица 3

Марка проволоки	$I_n$ , А	$U_d$ , В
ПП-АН3	200-240	24-25
АП-АН7	250-300	25-27

4. Исходя из иометрии наплавляемого слоя и учета припуска на мехобработку определить массу наплавляемого металла  $G_n$ , гр,

$$G_n = V_n \cdot \rho \cdot I,$$

где  $V_n$  — объем наплавляемого металла, дм<sup>3</sup>;

$\rho$  — плотность,  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup> для стали.

5. Принимая коэффициент наплавки  $\alpha_n$  для порошковых проволок  $\alpha_n = 13-17$  г/А·ч определить время наплавки

$$\Phi_n = \frac{G_n}{\alpha_n \cdot I_n} \text{ (ч. )},$$

где  $G_n$  — масса наплавленного металла, г;  
 $\alpha_n$  — коэффициент наплавки, г/А·ч;  
 $I_n$  — наплавочный ток, А.

6. Скорость протяжки проволоки  $V_{пр}$ , м/ч

$$V_{пр} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_n}{\varepsilon \cdot d_3 \cdot \rho},$$

где  $\alpha_n$  — коэффициент наплавки, г/А·ч;  
 $I_n$  — ток наплавки, А;  
 $d_3$  — диаметр электродной проволоки, мм;  
 $\rho$  — плотность проволоки, г/см<sup>3</sup>.

7. Норма расхода порошковой проволоки

$$G_{пп} = K_p \cdot G_n,$$

где  $G_n$  — масса наплавляемого металла, гр;  
 $K_p$  — коэффициент расхода (см. табл. 4).

## ОТЧЕТ

1. Схема механизированной наплавки изношенной детали порошковой проволокой

## 2. Расчет параметров режима плавки

## 4. Выводы

---

---

---

---

---

Дата      Подпись студента      Подпись преподавателя

## **РАБОТА № 6**

### **ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ**

#### **ЗАДАНИЕ**

1. Нанести на пластину из низкоуглеродистой стали покрытие из шарикоподшипниковой стали методом электроконтактной металлизации.
2. Изучить влияние времени обработки на толщину покрытия и распределение твердости металла по толщине детали.

#### **ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

Многие детали и конструкционные элементы подвижного состава железных дорог изготавливают из углеродистых сталей, чаще всего из низкоуглеродистых, плохо сопротивляющихся изнашиванию. Снижение интенсивности их износа может быть достигнуто различными методами упрочнения (термическая и химико-термическая обработки, нанесение газотермических покрытий и др.). Эффективным методом упрочнения является электроконтактная металлизация. При электроконтактной металлизации упрочняемая деталь и металлический электрод находятся под напряжением сварочного источника с падающей вольт-амперной характеристикой. При контактном перемещении электрода по поверхности упрочняемой детали в следствие наличия на их (электрода и деталей) поверхностях шероховатостей возникают кратковременные электрические разряды, которые расплавляют металл соприкасающихся между собой выступов (неровностей) как на электроде, так и на детали. Когда электрод является анодом (подключен к положительному полюсу источника тока), на упрочняемую деталь (катод) переносится материал электрода.

Во избежания приваривания электрода к деталям его сравнительно быстро перемещают (скорость перемещения примерно  $0,4 \pm 0,5$  м/с).

При многократном возвратно-поступательном перемещении электрода на поверхности упрочняемой детали формируется покрытие из материала электрода-анода, толщина которого зависит, в основном, от времени электроконтактной обработки детали. Покрытие не сплошное, его плотность достигает 60÷70%.

Для получения износостойкого покрытия в качестве электрода при контактно-дуговой металлизации чаще всего используют высокоуглеродистые легированные стали. Хорошо себя зарекомендовала шарикоподшипниковая сталь ШХ-15. В этом случае в качестве электрода-анода целесообразно использовать изношенные шарикоподшипники, перекатывая их по поверхности упрочняемой детали (так называемый метод накатки).

Благодаря отводу выделяющейся при электроконтактной металлизации теплоты вглубь обрабатываемой детали происходит термическая обработка закристаллизовавшегося металла покрытия (самозакаливание).

При выполнении лабораторной работы в качестве упрочняемого материала используется сталь марки \_\_\_\_\_; в качестве электрода используется шарикоподшипник № \_\_\_\_\_; диаметром \_\_\_\_\_ мм и шириной \_\_\_\_\_ мм.

## ОТЧЕТ

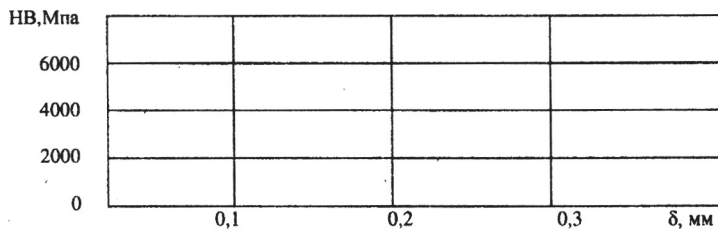
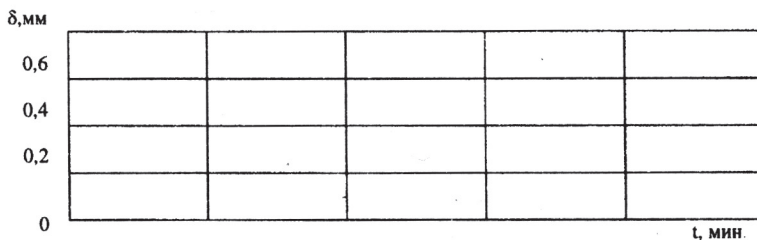
1. Привести принципиальную электрическую схему установки для электроконтактной металлизации.

2. Записать результаты измерения толщины покрытия, нанесенного электроконтактной металлизацией.

Ток разряда, А	Напряжение разряда, В	Длительность обработки t, мин.	Толщина покрытия $\delta$ , мм

3. Начертить график зависимости толщины покрытия от времени обработки детали.

4. Начертить график изменения твердости по толщине покрытия детали.



5. Выводы

---



---



---

Дата      Подпись студента      Подпись преподавателя

Доктор техн. наук, профессор А.В. ЛЮДАГОВСКИЙ

**СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

Руководство по выполнению лабораторных  
работ с методическими указаниями

Редактор *И.А. Четверикова*  
Компьютерная верстка *Н.Ф. Цыганова*

ЛР № 020307 от 28.11.91

---

Тип. зак. <b>905,</b>	Изд. зак. 11	Тираж 1 000 экз.
Подписано в печать 22.04.03	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 1,5	Допечатка тиража	Формат 60×90 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>

---

Издательский центр РГОТУПСа,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2.

Участок оперативной печати РГОТУПСа,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2