



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Эксплуатация транспортных систем и логистика»

## **Учебно-методическое пособие** к выполнению лабораторных работ по дисциплине

# **«Технология восстановления деталей и сборочных единиц»**

Авторы  
Рубанов В. В.,  
Марченко Ю. В.,  
Иванов В. В.

Ростов-на-Дону, 2018



## Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной формы обучения направления 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических систем и комплексов

## Авторы

д.т.н., проф. Рубанов В.В.,  
к.т.н., доц. Марченко Ю.В.,  
к.т.н., доц. Иванов В.В.



## Оглавление

<b>Лабораторная работа №1 .....</b>	<b>4</b>
Восстановление деталей индукционной наплавкой .....	4
<b>Лабораторная работа №2 .....</b>	<b>11</b>
Восстановление деталей электродуговой металлизацией .....	11
<b>Лабораторная работа №3 .....</b>	<b>18</b>
Изучение процесса ручной дуговой сварки в среде углекислого газа и расчет параметров процесса .....	18
<b>Лабораторная работа №4 .....</b>	<b>30</b>
Трение металлов без смазки.....	30

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### Восстановление деталей индукционной наплавкой

#### Правила техники безопасности при восстановлении деталей

##### наплавкой под флюсом

- Перед началом работы проверить надежность заземления, состояние защитного экрана и работу местной вытяжной вентиляции;
- во время работы стоять на резиновом коврике толщиной не менее 3 мм;
- во время наплавки следить за уровнем флюса в бункере, поскольку после прекращения подачи флюса дуга становится открытой и может повредить глаза;
- при прорыве дуги сквозь флюс необходимо прекратить работу на установке;
- работу производить в очках с защитными стеклами, чтобы обезопасить глаза от отлетающих раскаленных частиц шлака при отделении шлаковой корки от детали;
- при снятии наплавленной детали пользоваться специальными клещами во избежание ожогов.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с работой высокочастотного генератора (типа ЛЗ-167), износостойкими порошковыми материалами для индукционной наплавки, способами восстановления изношенных поверхностей и определить влияние режимов наплавка на твердость покрытия»

#### 2. НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

1. Высокочастотный генератор ЛЗ-167.
2. Одновитковый кольцевой индуктор.
3. Кристаллизатор.

## Технология восстановления деталей и сборочных единиц

4. Приспособление для закрепления наплавляемой детали.
5. Наплавочный материал.
6. Два секундомера.
7. Заточной станок.
8. Твердомер марки ТК-2.

## 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить устройство и принцип работы высокочастотного генератора ЛЗ-167.

2. Ознакомиться с видами износостойких порошковых наплавочных материалов.

3. Изучить способы восстановлений изношенных деталей индукционной наплавкой порошковыми материалами.

4. Провести наплавку торца детали при различных режимах нагрева.

5. Торцевать на заточном станке поверхность для определения твердости.

6. Определить влияние жесткости нагрева на твердость и построить график.

4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИНЦИПАХ РАБОТЫ  
ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ГЕНЕРАТОРА ЛЗ-167

Метод нагрева токами высокой частоты основан на использовании явления электромагнитной индукции. Магнитный поток, создаваемый переменным током, проходящим по проводнику (индуктору), наводит в металлической детали, помещенной внутри индуктора, вихревые токи, которые нагревают деталь, в генераторе ЛЗ-167 используется ток частотой 66 кГц, мощность 180 кВт. Плотность тока по сечению нагреваемой детали распространяется неравномерно. Глубина проникновения зависит от удельного сопротивления, магнитной проницаемости детали и частоты тока и определяется по формуле

$$h = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

(1)

где  $\rho$  - удельное сопротивление детали;

$\mu$  - магнитная проницаемость детали;

$f$  - частота тока.

Из формулы (1) следует, что чем выше частота тока и маг-

нитная проницаемость и меньше удельное сопротивление, тем сильнее проявляется поверхностный эффект распределения тока и тем на меньшую глубину нагревается металл. Основным условием равномерного индукционного нагрева является изготовление индуктора, соответствующего форме детали. Индуктор изготавливается в виде петли витка из медной трубки. Для охлаждения индуктора внутри трубки непрерывно под давлением подается вода.

## 5. ПОРОШКОВЫЕ НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для упрочнения или восстановления изношенных деталей применяется присадочный материал в виде специальной порошковой смеси - шихты, которая обладает высоким сопротивлением и слабо реагирует на воздействие электромагнитного поля, поэтому нагревается и расплавляется за счёт теплопередачи от наплавляемой детали. В связи с этим температура окончания плавления шихты должна быть ниже температуры начала плавления основного металла, а скорость подвода тепла к нагреваемой поверхности должна быть больше скорости ее отвода вглубь детали и потерь в окружающую среду.

Среди наплавочных материалов как по объему и характеру применения, так и по экономической эффективности особое место занимают порошкообразные сплавы. Использование порошковых материалов позволяет в широком диапазоне регулировать структуру и свойства получаемого наплавленного слоя. Из самой сущности индукционной наплавки вытекают технологические требования, предъявляемые к порошкообразным наплавочным материалам:

- материал должен иметь температуру плавления на 150-200°C ниже температуры плавления основного металла;
- материал должен обладать минимальной магнитной проницаемостью;
- материал должен обладать хорошей свариваемостью с основным металлом;
- грануляция материала должна составлять 0,05-1,0 мм.

В промышленности широкое применение для упрочнения и восстановления деталей нашли наплавочные материалы на основе железа ПГ-С-1, ПГ-УС-25, ПГ-ФБХ-6-2, на основе никеля ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, ПГ-10Н-01 и на основе кобальта ВЗК, В2К, ЗВ16К (табл. 1).

№	Сплавы	Химический состав, %	Тип	HRC
---	--------	----------------------	-----	-----

п/п		C	Cr	Si	B	W	Fe	Ni	Co	структуры	
1	ПГ-С-1	3	30	2,8	-	-	ос т	3,0	-	заэвтектиче- ская	56
2	ПГ-УС-25	4,8	39	2,0	-	-	ос т	1,8	-	заэвтектиче- ская	60
3	ПГ-ФБХ-6-2	3,5	35	2,5	1,3	-	ос т	-	-	заэвтектиче- ская	66
4	ПГ-12Н-01	0,6	14	3,2	2,5	-	2,2 ос т	-	-	доэвтектиче- ская	40
5	ПГ-12Н-02	0,6 1	16	3,6	3,0	-	4,3 ос т	-	-	заэвтектиче- ская	47
6	ПГ-10Н-01	0,6 3	17, 1	4,0	3,8	-	4,7 ос т	-	-	заэвтектиче- ская	56
7	ВЗК	0,3 5	31	2,7	-	4,7	0,9	2,0	ос т	доэвтектиче- ская	45
8	В2К	1,4	28, 5	1,6	-	12, 5	2,3	2,0	ос т	заэвтектиче- ская	50
9	ЗВ16К	3,0	24	1,2	-	18	-	-	ос т	заэвтектиче- ская	58

Сплавы на основе железа после наплавки имеют структуру легированных чугунов. Эти сплавы предназначены для индукционной наплавки деталей, работающих в абразивной среде без существенных ударных нагрузок.

Сплавы на основе никеля после наплавки имеют карбиды и бориды, которые придают наплавленному слою высокую твердость и износостойкость, позволяющую наплавлять быстроизнашивающиеся детали, работающие при ударных нагрузках и при повышенных температурах.

Сплавы на основе кобальта применяют для индукционной наплавки тяжело нагруженных деталей и инструмента, работающего при высоких температурах. Наличие вольфрама и кобальта повышает износостойкость и жаростойкость.

## 6. СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ

Наплавка в огнеупорном керамическом тигле (рис. 1) применяется для получения наплавленного слоя так, что внутренняя поверхность тигля обеспечивает требуемые размеры и форму наплавленного слоя, удерживает порошкообразную шихту и образовавшийся в процессе наплавки расплав. После охлаждения до

комнатной температуры тигель разбивают и извлекают деталь с наплавленным слоем. Достоинством этого способа является возможность получения тонкого равномерно наплавленного слоя, возможность вращения детали совместно с тиглем для равномерности нагрева, недостаток - одноразовое применение тигля.

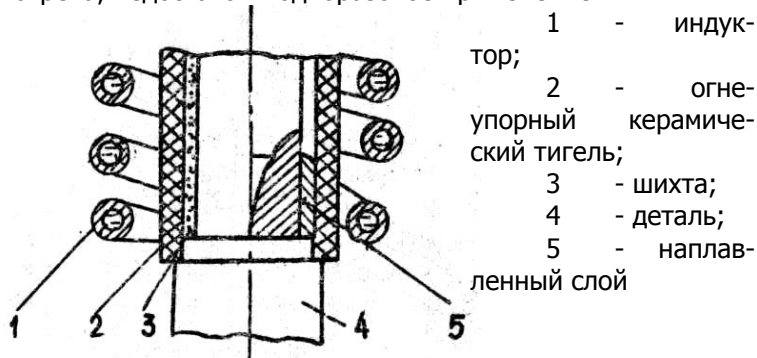


Рис. 1. Наплавка в огнеупорном керамическом тигле

Индукционная наплавка в холодном тигле-кристаллизаторе - (рис. 2) устраняет недостаток наплавки в огнеупорном керамическом тигле, так как этот способ осуществляется в постоянно охлаждаемой форме. Замена керамического тигля на медный водоохлаждаемый показала, что сохраняются основные преимущества наплавки в тигле. Поскольку деталь и тигель не вращаются, необходимо с достаточной точностью устанавливать деталь в приспособлении для её закрепления.

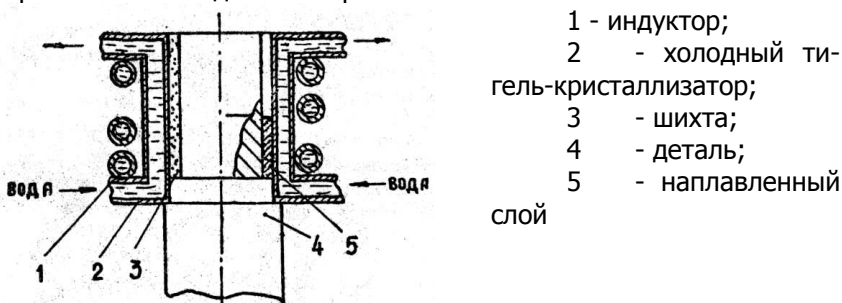


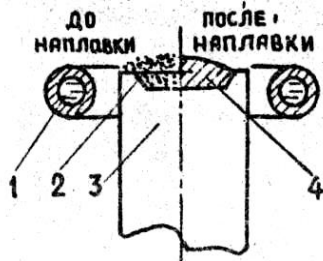
Рис. 2. Наплавка в холодном тигле-кристаллизаторе

Для восстановления торцевых поверхностей возможна индукционная наплавка на воздухе без формообразующих конструкций. Для получения необходимой толщины наплавленно-



го слоя заготовка

берется большего диаметра, а на торце детали растачивается выемка, куда загружается шихта. После наплавки заготовка протачивается до нужного размера. Достоинство данного способа в простоте наплавки, возможности визуального контроля за расплавом, недостаток - расход металла при механической обработке до нужного размера.



- 1 - индуктор;
- 2 - шихта;
- 3 - деталь;
- 4 - наплавленный слой

Рис. 3. Наплавка горца детали

## 7. ВЫБОР РЕЖИМОВ НАПЛАВКИ

Основным условием получения качественного слоя является правильный выбор мощности нагрева и продолжительности наплавки. Мощность нагрева определяется по формуле:

$$W = J \cdot U, \text{ (кВт)} \quad (2)$$

где  $J$  - сила тока на аноде генераторной лампы, А;

$U$  - напряжение на контуре, Кв.

Так как толщина слоя шихты имеет малую теплопроводность, то для выравнивания температуры по всему слою шихты, необходимо увеличивать продолжительность нагрева, снижая мощность на индукторе. Мощность нагрева изменяется в соответствии с критерием жесткости нагрева  $\xi$ , который определяется по формуле:

$$\xi = \frac{\tau_p}{\tau_o}, \quad (3)$$

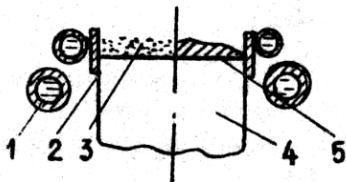
где  $\tau_p$  - время существования расплава;

$\tau_o$  - общее время нагрева.

Критерий жесткости нагрева  $\xi$  учитывает изменение продолжительности существования расплава, что приводит к изменению состава наплавочного материала в результате его растворения основным материалом.

## 8. НАПЛАВКА ТОРЦА ДЕТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХОЛОДНОГО ТИГЛЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

- 8.1. Собрать устройство для наплавки в соответствии с рис.  
4.



- 1 - индуктор;  
2 - холодный тигель-кристаллизатор;  
3 - шихта;  
4 - деталь;  
5 - наплавленный слой

Рис. 4. Схема наплавки торца детали с использованием холодного тигля-кристаллизатора

- 8.2. Проверить подачу воды в индуктор и холодный тигель-кристаллизатор.  
8.3. Мерным стаканчиком загрузить шихту в кристаллизатор.  
8.4. Включить генератор на нагрев.  
8.5. Снять показания тока анода ( $J_A$ ),  $A$  и напряжения на контуре ( $U_K$ ),  $Kв$ .  
8.6. По секундомерам определить полное время наплавки ( $T_0$ ) и время существования расплава ( $T_p$ ).  
8.7. Операции повторить с различной жесткостью нагрева при наплавке трех образцов.  
8.8. Охладить образцы в воде.  
8.9. На заточном станке торцевать наплавленный слой.  
8.10. Определить твердость наплавленного слоя на твердомере ТК-2. Взять среднее значение трех измерений.  
8.11. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	Наплавляемый материал	$J_A$ , (А)	$U_K$ , (Кв)	$W$ , (кВт)	$T_0$	$T_p$	$\xi$	HRC
1.								
2.								
3.								

- 6.12. Построить график зависимости твердости наплавленного слоя от жесткости нагрева



### Контрольные вопросы

1. Какие порошки твердых сплавов относятся к группе порошков не железной основе?
2. Какие порошки твердых сплавов относятся к группе порошков на никелевой основе?
3. Какие порошки твердых сплавов относятся к группе порошков на кобальтовой основе?
4. Сущность способа наплавки в огнеупорном, керамическом тигле
5. Сущность способа наплавки в холодном тигле-кристаллизаторе.
6. Принцип работы установки ТВЧ.
7. Индуктор, его назначение
8. Дать определение критерия жесткости и какие параметры наплавки он учитывает?

### Литература

1. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М., Казинцев Н.В., Андырев Д.А. Индукционная наплавка твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970ю – 184 с.
2. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 186 с.
3. Рубанов В.В., Колотиенко С.Д., Кохановский В.А. и др. Технология композиционных материалов: Учебное пособие/ДГТУ, Ростов н/Д, 1995, 89 с.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### Восстановление деталей электродуговой металлизацией

#### 1. Цель работы

Освоение методики выбора параметров процесса напыления, определение коэффициента усвоения распыленного металла, плотности и пористости покрытия.

## 2. Общие сведения об электродуговой металлизации

Между двумя изолированными друг от друга и находящимися под напряжением  $V_d = 17 + 40$  В проволочными электродами 4 (рис. 1) в точке скрещивания образуется электрическая дуга.

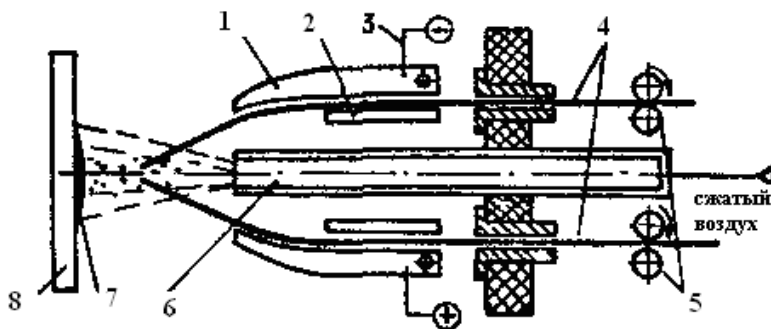


Рис. 1. Схема электродуговой металлизации:  
 1 – направляющая пластина; 2 – прижимная планка; 3 – токовод;  
 4 – проволока электродная; 5 – механизм подачи проволоки;  
 6 – воздушное сопло;  
 7 – напыленный слой; 8 – покрываемое изделие.

Расплавляемый в ней металл электродов 4 под действием выходящей из сопла 6 струи сжатого воздуха распыляется и наносится на покрываемую поверхность 8. Непрерывное продвижение проволочных электродов осуществляется механизмом подачи 5. Источником питания дуги служат сварочные выпрямители с жесткой внешней характеристикой. Диаметр проволоки  $1,5 + 3$  мм. Скорость переноса капель металла составляет  $60 + 250$  м/с. Размер капель до 200 мкм.

Восстановлению наиболее успешно поддаются наружные поверхности тел вращения, работающие в условиях жидкой смазки. Такими деталями являются различного вида и размеров шейки осей, валов, цапф, пальцев, шпинделей, а также плунжерные поршни.

Вследствие хрупкости и недостаточно высокой прочности

сцепления металлизационные покрытия не наносят на зубья шестерен, кулачки, клапанные седла и другие детали, подверженные ударам и динамическим нагрузкам.

По той же причине покрытия нельзя наносить на углы граней и острые сходы (например, резьбу).

Эскиз образца и пример обозначения покрытия в технической документации предоставлен на рис. 2.

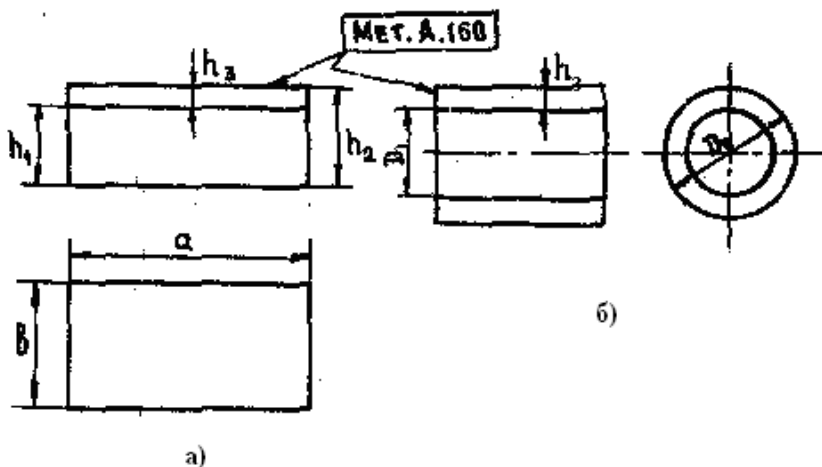


Рис. 2. Условное обозначение электрометаллизационного покрытия: а - на плоской поверхности; б - на цилиндрической поверхности; Мет. - покрытие, нанесенное методом электродуговой металлизации; А. - алюминиевое покрытие; 160 - толщина покрытия, 160 мкм.

### 3. Необходимое оборудование, инструменты и материалы

- 3.1. Камера для напыления с местной вытяжкой.
- 3.2. Электрометаллизационная установка КДМ-12М.
- 3.3. Пескоструйная камера.
- 3.4. Аналитические весы с разновесами.
- 3.5. Рулетка, штангенциркуль.
- 3.6. Секундомер.
- 3.7. Проволока для напыления.

### 3.8. Цилиндрические и плоские образцы.

#### 4. Порядок выполнения работы

Образцы для напыления плоской и цилиндрической формы изготовлены из стали Ст.3.

4.1. Поверхность образцов подготовить одним из способов:

зачистить наждачной бумагой; подвергнуть пескоструйной обработке или нарезать «рваную» резьбу. После обработки поверхность должна быть однородной, матовой, светло-серого цвета без пятен. Образцы поместить с одной из сторон. Определить массу  $Q$  (г) исходных образцов с точностью до 0,01 г.

4.2. По конкретному заданию (табл. 1.), зная номинальную производительность и напряжение на дуге  $U_g$ , определить рабочий ток  $I_g$  (рис. 3).

Таблица 1

Задания для выбора режима напыления и расчетов

№ п/п	Материал покрытия и его обозначение	Вид образца	Номинальная производительность, кг/ч	$V_g$
1	Алюминий (А)	плоский	5,0	23
2	Сталь (Ж)	плоский	7,5	25
3	Алюминий (А)	цилиндр	10,0	30
4	Сталь (Ж)	цилиндр	10,0	30
5	Алюминий (А)	плоский	10,0	30
6	Сталь (Ж)	плоский	5,0	30
7	Алюминий (А)	цилиндр	7,5	23
8	Сталь (Ж)	цилиндр	5,0	25

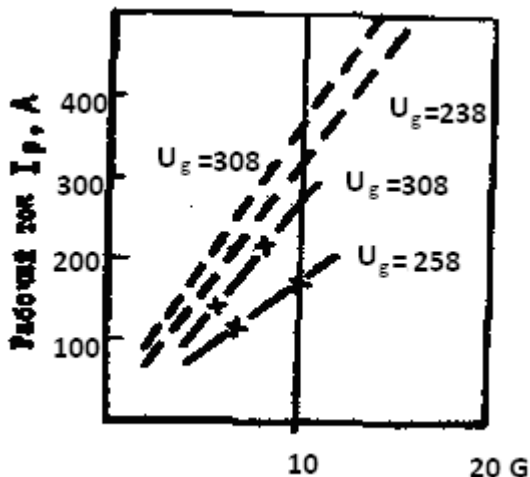


Рис. 3. Зависимость напряжения дуги  $V_a$  и рабочего тока  $I_p$  от производительности:

--- алюминий; -x-x-x- сталь

4.3. Необходимое напряжение на дуге установить на источнике питания.

4.4. Включить аппарат на режим «напыление». Плавным регулированием подачи проволоки установить по приборам выбранный рабочий ток  $I_g$ .

4.5. Произвести напыление проволоки заданного состава на образцы с дистанции 100-120 мм соответственно в режиме, выбранном ранее на установке КДМ-12М учебным мастером, зафиксировать время напыления  $t$ , мин.

4.6. Определить массу образца с покрытием  $Q$ , г.

4.7. При работе металлизатора в режиме «наладка» измерить с помощью рулетки длину  $l$  (см) одной проволоки, подаваемой за 30 сек ( $I_{Al} = 1,8 - 2,2$  м;  $I_{Fe} = 1,4 - 1,9$  м).

4.8. Рассчитать длину одной проволоки  $L$  (см), подаваемую за время напыления.

4.9. Определить массу двух проволок, подаваемых за время напыления образца, по формуле:

$$P_{np} = 2L \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \gamma$$

где  $d$  – диаметр проволоки – 0,18 см;

## Технология восстановления деталей и сборочных единиц

$\gamma$  – плотность материала проволоки, г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_{Al} = 2,7$  г/см<sup>3</sup>;  $\gamma_{Fe} = 7,87$  г/см<sup>3</sup>.

4.10. Рассчитать массу покрытия  $Q_3$ , г:

$$Q_3 = Q_2 - Q_1,$$

где  $Q_2$  – масса образца с покрытием, г;

$Q_1$  – масса образца до напыления, г.

4.11. Рассчитать коэффициент условия  $K$ , % по формуле:

$$K = \frac{P_{np} - Q_3}{P_{np}} \cdot 100$$

где  $P_{np}$  – масса проволок, распыленных за время напыления образца, г;

$Q_3$  – масса покрытия, г.

Полученные результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

Сводная таблица основных параметров напыления

Материал покрытия	Толщина покрытия, мм	Вид образца	Номинальная производительность процесса, кг/ч	Напряжение дуге, U <sub>г</sub> , В	Рабочий ток, I <sub>р</sub> , А.	Коэффициент усвоения, K, %	Плотность покрытия		Общая пористость покрытия П <sub>об</sub> , %
							Реальная, $\gamma_p$ , г/см <sup>3</sup>	Относительная, $\gamma_o$ , %	

4.12. Определить объем покрытия  $V_n$  (см<sup>3</sup>) путем обмера геометрических размеров образцов (см. рис. 2). Одноименные размеры снимать не менее трех раз и находить среднее значение. Точность измерения до 0,1 мм.

4.13. Рассчитать реальную плотность покрытия  $\gamma_p$ , г/см<sup>3</sup>:

$$\gamma_p = \frac{Q_3}{V_n}$$

где  $Q_3$  – масса покрытия, г;

$V_n$  – объем покрытия, см<sup>3</sup>.



## Технология восстановления деталей и сборочных единиц

4.14. Рассчитать относительную плотность покрытия  $\gamma_o$ , %:

$$\gamma_o = \frac{\gamma_p}{\gamma} \cdot 100\%$$

где  $\gamma$  – плотность, которую имело бы беспористое (компактное) покрытие, г/см<sup>3</sup>:

$$\gamma_{Al} = 2,7 \text{ г/см}^3; \gamma_{Fe} = 7,87 \text{ г/см}^3.$$

4.15. Рассчитать общую пористость  $П_{об}$ , %:

$$П_{об} = \frac{\gamma - \gamma_p}{\gamma} \cdot 100\%$$

## 5. Указания по охране труда

5.1. Обязательно пройти инструктаж по технике безопасности при работе на установке КДМ12М и пескоструйной установке.

5.2. Перед началом работы ознакомиться с расположением и назначением всех частей установок.

5.3. Работу на установках проводить в присутствии преподавателя или учебного мастера.

5.4. Запрещается отходить от установки во время исследования.

5.5. Указания по технике безопасности при работе на установках в полном объеме приведены в специальных инструкциях.

## 6. Содержание отчета

6.1. Цель работы.

6.2. Схема электродуговой металлизации.

6.3. Эскиз образца для напыления с геометрическими размерами.

6.4. Используемое оборудование, инструменты и материалы.

6.5. Порядок выполнения работы. Результаты измерений и расчетов.

## Технология восстановления деталей и сборочных единиц

6.6. Сводная таблица 2.

6.7. Дать объяснения полученным результатам.

### 7. Контрольные вопросы для сдачи работы

7.1. Что называется электрометаллизационным напылением?

7.2. В чем состоит универсальность и эффективность рассматриваемого способа?

7.3. Какие существуют ограничения при выборе восстанавливаемой поверхности?

7.4. Устройство и принцип действия электродуговых аппаратов.

7.5. В чем состоит сущность технологии нанесения металлизационных покрытий?

7.6. Охарактеризуйте основные методы предварительной подготовки поверхности основы.

7.7. Расскажите об элементах режима напыления.

7.8. Раскройте методику выбора параметров режима напыления.

7.9. Назовите основные факторы процесса напыления, влияющие на коэффициент усвоения распыленного металла и плотность покрытия.

7.10. Какие материалы применяются для электродуговой металлизации?

7.11. Назовите области применения металлизационных покрытий.

### Рекомендуемая литература

1. Дальский А. М. и др. Технология конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.

2. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. М.: Металлургия, 1992.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Изучение процесса ручной дуговой сварки в среде углекислого газа и расчет параметров процесса

## **Введение**

### **Сведения из теории**

**Сварка** – процесс получения неразъемных соединений деталей машин, конструкций и сооружений. С помощью сварки можно получать сложнейшие изделия из заготовок, выполненных прокаткой, литьем, ковкой и штамповкой.

Ручная дуговая сварка является универсальным способом сварки. Она незаменима, когда применение механизированных методов сварки не представляется возможным (например, в монтажных условиях, труднодоступных местах, при сварке деталей сложной конфигурации).

Одним из недостатков метода является сравнительно низкая скорость сварки, которая лимитируется предельными значением (300 А) сварочного тока. Превышение этого предела вызывает перегрев электрода.

Для осуществления процесса сварки плавящимися электродами необходимы следующие основные сварочные материалы: стальная сварочная проволока повышенного качества, покрытые электроды, флюсы, защитные газы (преимущественно углекислый газ).

### **Определение характера шва, формы свариваемых кромок и условное обозначение их.**

Проанализировав задание (способ сварки и толщину свариваемых кромок), а также учтя рекомендации (см. табл. 1) следует определить характер шва (односторонний или двусторонний) и соответствующую форму поперечного сечения кромок под сварку. При этом надо иметь в виду, что характер сварного шва определяется формой поперечного сечения подготовки кромок свариваемых изделий.




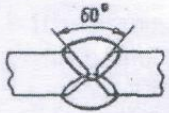
Характер сварного шва	Форма поперечного сечения	Способы сварки		
		Автоматическая		Ручная дуговая сварка
		Под флюсом	В углекислом газе	
односторонний	Без скоса кромок 	14	8	4
	V-образная подготовка 	28	-	8
двусторонний	Без скоса кромок 	20	16	7
	X-образная подготовка кромок 	50	-	≥ 13 >

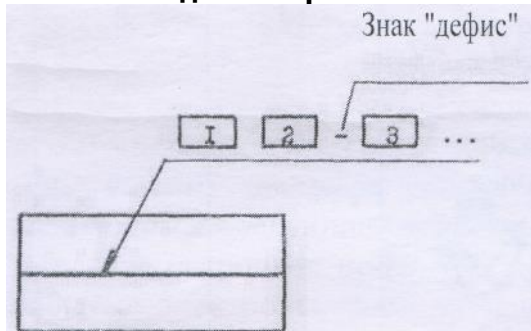
Таблица 1 – предельная толщина свариваемых деталей из углеродистых и низколегированных сталей  $\delta$  (мм)

**Форма разделки кромок определяется толщиной**

Скошенные кромки притупляют, чтобы предотвратить сквозное проплавление (прожоги) корня шва. Для лучшего провара между свариваемыми кромками оставляют зазор – а. Размеры зазора и других параметров шва установлены соответствующими ГОСТами и могут быть приняты равными от 1 до 2 мм.

При больших толщинах, начиная с 8-12 мм, применяют V – и X – образные скосы кромок, которые в сочетании с правильно выбранным зазором расширяют макси-

**мальные толщины металлов, которые можно сваривать различными методами сварки плавлением.**







Условное изображение шва наносят на полке линии – выноски. На рисунке 1 показана структура условного обозначения шва.

Рис 1 - Структура условного обозначения стандартного шва:  
1. Обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединения

- А) Ручная дуговая сварка – ГОСТ 5264-80;
- Б) Дуговая в защитных газах – ГОСТ 14771-76;
- В) Автоматическая под флюсом – ГОСТ 8713-79.
- 2. Буквенно-цифровое обозначение шва (см. табл. 2);
- 3. Условное обозначение способа сварки.

А - автоматическая, П - механизированная под флюсом, П – 3 -механизированная плавящимся электродом в защитных газах;

Характер сварного шва	Форма поперечного сечения	Способы сварки		
		Под флюсом	В углекислом газе	Ручная дуговая сварка
односторонний	Без скоса кромок 	C4	C4	C2
	V-образная подготовка 	C18	C18	C17
двусторонний	Без скоса кромок 	C7	C7	C7
	X-образная подготовка кромок 	C25	C25	C25

Ручная дуговая сварка буквенного обозначения не имеет. Способ сварки можно не указывать.

Таблица 2 - Буквенно-цифровое обозначение шва

### Расчетное определение параметров режима ручной дуговой сварки

Исходной величиной для расчета и выбора режима при сварке стыкового соединения является толщина свариваемого элемента  $\delta$ .

1. **Диаметр электрода  $d_э$ , силу сварочного тока  $I_{св}$**  следует определить по таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики сварки

Толщина свариваемой детали $\delta$ , мм	2	3-4	5-6	7-8	10	12
Рекомендуемый диаметр электрода $d$ , мм	2,5	4	4	5	6	6
Сила тока $I_{св}$ , А	45-70	100-200	200-240	240-300	280-340	300-360

2. **Напряжение на дуге**  $U_D$ , В при ручной дуговой сварке изменяется в сравнительно узких пределах:

Рисунок 3 – График для определения общей площади  $F_{но}$  наплавленного металла стыкового шва в зависимости от толщины листов  $\delta$  и типа шва.

**Для первого прохода** (при проваре корня шва)

$$F_{II}^1 = (6 \dots 8) d_{э} \quad (1)$$

**Для последующих проходов**

$$F_{II} = (8 \dots 12) d_{э}, \quad (2)$$

где  $d_{э}$  - диаметр электрода, мм;  $F_{II}^1$  - площадь поперечного сечения первого прохода шва, мм<sup>2</sup>,  $F_{II}$  - площадь поперечного сечения каждого последующего прохода мм<sup>2</sup>.

**Количество проходов**  $n_{np}$  **следует найти по формуле:**

Для ручной дуговой сварки

$$n_{np} = (F_{HO} - F_{II}^1) / F_{II} + 1; \quad (3)$$

**Скорость сварки**  $V_{CB}$  определяют из выражения, м/ч:

$$V_{CB} = \frac{d_n \cdot I_{CB}}{\gamma \cdot F_{HO}}, \quad (4)$$

где  $F_{HO}$  - общая площадь сечения наплавленного металла шва, мм<sup>2</sup>;  $\gamma$  – плотность наплавленного металла, 7,8 г/см<sup>3</sup>;  $d_n$  - коэффициент наплавки 8-12 г/А\*ч.

**Массу наплавленного металла**  $G_H$ , г на изделие определяют по формуле:

$$G_H = F_{HO} \cdot \gamma \cdot l, \quad (5)$$

где  $F_{HO}$  - общая площадь сечения наплавленного металла шва, мм<sup>2</sup>;  $\gamma$  - плотность наплавленного металла, 7,8 г/см<sup>3</sup>;  $l$  - суммарная длина шва, мм.

**Время сварки изделия**  $t_{CB}$ , ч определяется по формуле:

$$t_{CB} = \frac{G_H}{d_H \cdot I_{CB}}, \quad (6)$$

$G_H$  - масса наплавленного металла, г;  $d_H$  - коэффициент наплавки 8-12 г/А\*ч;  $I_{CB}$  - сварочный ток, А.

**Производительность дуговой сварки**  $G$ , г/ч определяется по формуле:

$$G = d_H \cdot I_{CB} \quad (7)$$

**Расход толстопокрытых электродов**  $G_{\Sigma}$ , г определяется по формуле:

$$G_{\Sigma} (1,6 \dots 1,8) G_H, \quad (8)$$

где  $G_H$  - масса наплавленного металла, г.

**Пример**



№ задания	Марка сварочного материала	Размеры заготовки	
		Толщина заготовки $\delta$ , мм	Длина шва $l$ , мм
1	Электрод с меловым покрытием	6	300
2		8	400
3		7	500
4		5	300
5		6	400
6		10	500
7		5	400
8		12	600
9		9	500
10	Электрод – УОНИ 13/45;	13	600
11		10	700
12		8	600
13		11	500
14		7	600
15		12	500
16	Электрод-ОММ-5	3	900
17		4	1100
18		5	1000
19		11	1200
20		9	1300
21		14	1100
23		23	1600
24		25	1200
25		27	1700

Согласно индивидуальному заданию (см. табл. 6) рассчитать режим ручной дуговой сварки стыкового шва на стальных листах толщиной  $\delta=12$  мм и длиной сварного шва  $l=500$  мм. Марка электрода УОНИ-13. Постоянный сварочный ток. Материал заготовки- сталь.

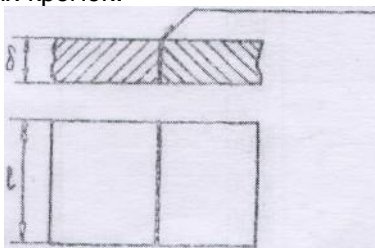
В соответствии с рекомендациями табл. 1 выбираем:

## Технология восстановления деталей и сборочных единиц

1. Характер сварного шва – двусторонний;
2. X – образную форму поперечного сечения подготовленных кромок;
3. Наносим на эскиз условное изображение шва (см. рис 1);
4. По табл. 3 выбираем: диаметр электрода  $d_э = 6$  мм и силу тока  $I_{CB} = 300-600$  А;
5. Выбираем напряжение на дуге.

$$U_{д} = 25 \dots 28 В$$

6. Находим общую площадь  $F_{HO}$  поперечного сечения наплавленного металла по графику 3, учитывая форму подготовленных кромок:



$$F_{HO} = 120 \text{ мм}^2$$

Рисунок 5 - Эскиз сварной заготовки



Рисунок 6 - Форма поперечного сечения подготовленных кромок и сварного шва

7. Находим по формуле (1) и (2) площадь  $F_{II}$  поперечного сечения шва за один проход:

$$\text{для первого прохода} - F_{II}^1 = 8 * 6 = 48 \text{ мм}^2;$$

$$\text{для последующих проходов} - F_{II} = 10 d_э^2 = 60 \text{ мм}^2$$

- 8 Определим по формуле (3) количество проходов:

$$n_{np} = \frac{72}{60} = 1,2 \text{ прохода.}$$

Принимаем два прохода.

9. Определяем скорость сварки  $V_{CB}$  для одного прохода по формуле (4);

$$V_{CB} = \frac{10 \cdot 300}{7,8 \cdot 120} = 3,2 \text{ м/ч.}$$

10. Определяем массу наплавленного металла  $G_H$  на изделие по формуле (5):

$$G_H = 1,20 \cdot 7,8 \cdot 50 = 468 \text{ г.}$$

11. Определяем время сварки  $t_{ce}$  по формуле (6):

$$t_{ce} = \frac{468}{10 \cdot 300} = 0,15 \text{ ч.}$$

12. Определяем производительность  $G$  дуговой сварки по формуле (7):

$$G = 10 \cdot 300 = 3000 \text{ г/ч.}$$

13. Расход толсто покрытых электродов определяется по формуле (8):

$$G_{\mathcal{E}} = 1,7 \cdot G_H = 1,7 \cdot 468 = 795 \text{ г.}$$

## Сварка в среде защитных газов

**1. Сущность способа.** Сварка в среде защитных газов разработана в ЦНИИТМаше коллективом под руководством профессора К.В. Любовского в 1952 году.

Сущность способа состоит в том, что в зону горения электрической дуги под давлением подается защитный газ, который, оттесняя воздух, защищает расплавленный металл сварочной ванны от вредного воздействия на него кислорода и азота.

Сварка в защитных газах может выполняться плавящимися и неплавящимися электродами (угольным или вольфрамовым). В авторемонтном производстве нашли применение автоматическая и полуавтоматическая сварка плавящимися и неплавящимися электродами.

При сварке плавящимся электродом электродная проволока подается в зону горения дуги через специальную газоэлектрическую горелку, к которой подводятся электрический ток и защитный газ (аргон, гелий, диоксид углерода).

В качестве защитных газов наибольшее применение получили диоксид углерода и аргон. Схема в среде диоксида углерода представлена на рисунке 7.

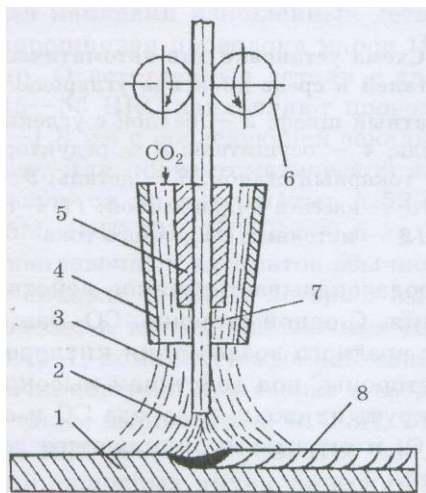


Рисунок 7 – Схема дуговой сварки в среде диоксида углерода

1 – деталь; 2 – дуга; 3 – диоксид углерода; 4 – сопло горелки; 5 – наконечник горелки; 6 – ролики для подачи проволоки; 7 – электродная проволока; 8 – наплавленный металл.

Сварку в углекислой среде, как правило, ведут на постоянном токе обратной полярности. Это обеспечивает хорошую устойчивость процесса. Питание диоксидом углерода осуществляется по схеме: баллон-подогреватель-осушитель-понижающий редуктор-расходомер-наплавочная головка (1 баллон содержит 40 л (25 кг) углекислоты, из 1 кг образуется 509 л углекислого газа).

Диоксид углерода оказывает двоякое действие на качество сварного соединения. С одной стороны диоксид углерода защищает расплавленный металл от вредного воздействия кислорода и азота воздуха, а с другой стороны, под действием высокой температуры дуги диоксид углерода диссоциирует на оксид углерода СО и атомарный кислород О и оказывает окисляющее действие на расплавленный металл.

Оксид углерода также частично диссоциирует на С и О.

Атомарный кислород обладает высокой химической активностью и способен окислять все элементы, входящие в состав электродной проволоки и основного металла, в том числе и железо.

Для устранения вредного влияния реакций окисления возникает необходимость применения при сварке раскислителей, в качестве которых выступают кремний, марганец, титан и хром. Для этой цели применяется специальная сварочная проволока с

повышенным содержанием кремния и марганца, которые являются активными раскислителями, так как обладают большим сродством с кислородом и восстанавливают железоиз его оксидов.

**2. Материалы для сварки.** Ввиду того, что при данном способе флюсы и покрытия отсутствуют, задачу раскисления и легирования металла сварочной ванны можно решить только подбором электродной проволоки соответствующего химического состава. В связи с этим для сварки поверхностей применяется проволока диаметром 0,5-2,0 мм следующих марок: Св-08ГС, Св-10ГС, Св-12 ГС. Кроме того используется порошковая проволока марок: ПП-Р18Т, ПП-Р9Т, ПП-Х2В8Т и другие. Ответственные детали с твердостью рабочих поверхностей 45-55 HRC наплавляют проволокой Нп-30 ХГСФ диаметром 1,2-1,8 мм с последующей закалкой.

**3. Режимы и особенности.** Режим сварки характеризуется силой сварочного тока, напряжением дуги, диаметром электродной проволоки, скоростью сварки и вылетом электрода.

Диаметр электродной проволоки и сила сварочного тока выбираются в зависимости от толщины свариваемого металла. Ориентировочные режимы сварки в среде углекислого газа приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры сварки в среде углекислого газа

Толщина основного металла, мм	Режим сварки					
	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, л/мин	Диаметр проволоки, мм	Вылет электрода, мм
1	30—50	17—18	20—25	6—7	0,5—0,7	5—8
2	110—140	19—20	20—30	6—7	0,8	7—12
3—4	140—160	20—21	20—30	7—9	1,0	8—13
5—8	180—220	23—26	20—35	12—15	1,6	15—20
9—12	280—300	28—30	25—30	15—17	2,0	20—25

При повышении напряжения увеличивается длина дуги, соответственно возрастает путь капельного переноса металла через дуговой промежуток, что способствует интенсивности его окисления и выгоранию кремния и марганца. Низкое напряжение дуги

вызывает чрезмерное усиление швов и высокие надрезы.

В авторемонтном производстве целесообразна полуавтоматическая и автоматическая сварка в среде защитных газов при восстановлении широкой номенклатуры деталей трансмиссии и ходовой части автомобилей, а также сварка деталей из сплавов алюминия тонколистовой стали при ремонте кабин, кузовов и рам.

Основными *достоинствами* сварки в среде защитных газов являются: высокая производительность благодаря хорошему использованию теплоты сварочной дуги; возможность сварки деталей любой толщины и диаметра; возможность наблюдения за ходом сварки, что обеспечивает точность наложения шва; уменьшение коробления металла при восстановлении деталей из тонколистовой стали благодаря охлаждающему действию защитного газа.

Внедрение полуавтоматической сварки в среде углекислого газа в производстве при ремонте кабин, кузовов, рам снижает объем ручных работ на 60 %.

*К недостаткам* способа можно отнести: потери металла до 5-10 % за счет повышенного разбрызгивания; снижение усталостной прочности на 10-20 % и пониженную в отдельных случаях износостойкость.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Трение металлов без смазки

#### ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Не включать станок в отсутствие преподавателя или учебного мастера.
2. Не забывать ключ в гнезде 3-х кулачкового патрона.
3. После сборки узла трения представить его для контроля преподавателю.
4. Смена образцов, контртел, величин нагрузок и чисел оборотов выполняется только при полной остановке вращения шпинделя станка.

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с процессом трения металлических деталей

без смазки; определить влияние рабочей нагрузки и скорости скольжения на температуру в зоне трения.

## 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для снижения потерь на трение и уменьшения износа в трибо-сопряжениях используются различные смазочные материалы. Однако, в ряде аварийных ситуаций, смазка перестает поступать в узел трения. Это может произойти вследствие вытекания смазки разжиженной из-за повышения температуры, засорения маслопровода, деструкции смазочного материала, от взаимодействия с окружающей средой и т.п. Тогда пара трения работает в условиях сухого трения - прямого контакта между металлическими поверхностями.

В этом случае сила трения обусловлена

-деформационной или механической составляющей, являющейся следствием деформирования материала внедрившимися в него микронеровностями;

-молекулярной или адгезионной составляющей, возникающей на ювенильных поверхностях в результате преодоления молекулярных сил.

Практически вся работа сил трения преобразуется в тепловую энергию, проявляющуюся в саморазогреве узла трения.

В настоящей работе смоделирован процесс аварийного сухого трения металлических поверхностей (см.рис 1). Критерием допустимости работы узла в этом режиме принята средняя температура образца, равная 70°C. Модель изменения температуры в зависимости от скорости скольжения и контактной нагрузки строится по опытным данным.

## 3. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ

- 3.1. Узел трения (см.рис.1);
- 3.2. Образцы из бронзы - 4 шт;
- 3.3.Контртела из стали - 4 шт;
- 3.4.Измерительный блок (термопара ХК и милливольтметр);
- 3.5. Вращающийся центр.

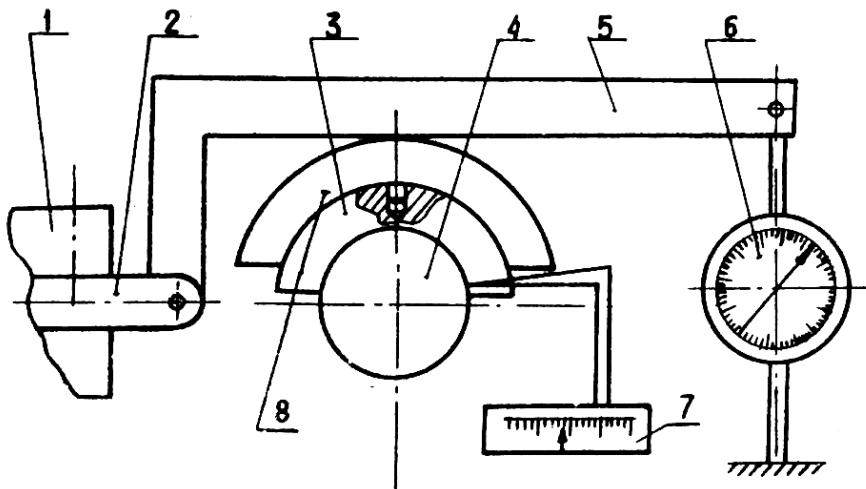


Рис. 1. Схема узла трения

- 1- резцедержатель станка;
- 2- державка нагружающего устройства;
- 3- образец;
- 4- контртело;
- 5- рычаг;
- 6- динамометр растяжения;
- 7- измерительный блок;
- 8- обойма

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Ознакомиться с общими сведениями о трении безсмазки в разделе 2

4.2. Ознакомиться с правилами по технике безопасности в разделе 5.

4.3. Подготовить отчёт в соответствии с разделом 6.

4.4. Собрать узел трения как показано на рис. 1.

4.4.1. Закрепить контртело 4 в 3-х кулачковом патроне токарного станка.

4.4.2. Установить в пиноль задней бабки станка вращающийся центр и поддержать им контртело 4.

4.4.3. Закрепить в резцедержателе 1 державку 2 нагружающего устройства.

4.4.4. Установить на контртело 4 образец 3 так, чтобы фиксирующий штифт рычага 5 вошёл в отверстие образца 3 на его



наружной цилиндрической поверхности.

4.4.5. Между рычагом 2 и станиной станка установить динамометр 6 и нагрузить образец в соответствии с таблицей 1. Соотношение плеч рычага 5 составляет 1:3.

4.5. Установить на станке число оборотов шпинделя в соответствии с таблицей 1.

4.5. Включить станок и после 5 минут его работы определить по прибору температуру зоны трения.

4.7. Записать результаты измерения температуры в протокол.

4.8. Разгрузить динамометр и снять его с рычага 5.

4.9. Заменить стальное контртело 4 и бронзовый образец 3.

4.10. Повторить п.п. 4.4; 4.5; 4.6; 4.7; 4.8; 4.9 для других значений нагрузки и скорости скольжения в соответствии с таблицей 1.

4.11. По экспериментальным данным построить модель зависимости температуры от нагрузки и скорости скольжения.

4.11.1. Занести результаты измерений из графы 6 в графы 7, 8, 9 таблицы 1 с учетом знака.

4.11.2. Просуммировать алгебраически графы 6, 7, 8, 9, разделить суммы на 4 и записать в последнюю строку таблицы 1

4.11.3. Записать модель и кодовых переменных в виде:

$$\theta^{\circ} = V_0 + V_1 X_1 + V_2 X_2 + V_{1,2} X_1 X_2$$

4.11.4. Перейти от кодовых переменных к натуральным, подставив и получить модель в виде  $\theta = f(P, V)$

4.12. Построить графики зависимостей температуры от скорости скольжения для разных нагрузок.

4.12.1. Заменить в полученной модели  $\theta = f(P, V)$  нагрузку P на следующие её значения 30; 50; 90 кг.

4.12.2. Для каждого значения нагрузки рассчитать температуру для четырёх величин скорости скольжения равной 0,073; 0,1; 0,12; 0,146 м/с.

4.12.8. По расчётным значениям, температуры построить графики в координатах температура - скорость скольжения.

4.13. Сравнить полученные значения температуры с её допустимым значением  $[\theta] = 70^{\circ}\text{C}$  и сделать вывод о работоспособности узла трения.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Титульный лист с указанием кафедры, названия работы, ФИО студента, группы, преподавателя и даты выполнения

работы.

5.2. Цель работы.

5.3. Эскиз узла трения (рис. 1).

5.4. Таблица 1.

№ п/ п	Кодовые переменные		Натуральные переменные		Результат эксперим. $\theta, ^\circ\text{C}$	Расчет			Результат модели $\theta^*, ^\circ\text{C}$	Относит. ошибка $\frac{\theta - \theta^*}{\theta} \cdot 100\%$
	$x_1$	$x_2$	$P, \text{ кг}$	$u, \text{ мин}^{-1} (V, \text{ м/с})$		$x_1$ $\theta$	$x_2$ $\theta$	$x_1 \times x_2$ $2\theta$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	30	100						
2	-	+	30	200						
3	+	-	60	100						
4	-	+	60	200						
			1/4Σ		$B_0 =$	$B_1 =$	$B_2 =$	$B_{1,2} =$		

5.5. Выполненные расчёты

5.6. График зависимостей температуры от скорости скольжения для разных нагрузок.

5.7. Выводы

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. В каких случаях возникает сухое трение металлических поверхностей?

6.2. Какими факторами обусловлено возникновение силы трения скольжения?

6.3. На что в основном расходуется работа силы трения?

6.4. Как влияет на величину силы трения нагрузка?

6.5. Как влияет на величину силы трения скорость скольжения?

6.6. Как определить мощность трения?

## **7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

- 7.1. Гаркунов Д.Н. Триботехника М, Машиностроение, 1989.
- 7.2. Костецкий В.И. Трение, смазка и износ в машинах. Киев. Техника, 1970.
- 7.3. Крагельский И .В. Трение и износ. М. Машиностроение, 1968.