ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени И.С. Тургенева

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА» ПОЛИТЕХНИЧЕКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Н. ПОЛИКАРПОВА

Кафедра машиностроения

О.В. Полохин

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Дисциплина – «Технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин»
Специальность – 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов»
Направление – 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Орёл
ОГУ имени И.С. Тургенева
2019

Автор: канд. техн. наук, доц. каф. машиностроения О.В. Полохин

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. машиностроения А.С. Тарапанов

Методические указания по выполнению лабораторных работ способствуют освоению на практике технологий, систем и средств машиностроительных производств; закрепляют формирование знаний, умений и навыков для выполнения мероприятий по выбору и эффективному использованию материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки. В методических указаниях рассмотрены цели лабораторных работ, их организация и проведение.

Предназначены для студентов очной формы, обучающихся по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» и направлению 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», изучающих дисциплину «Технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин».

Редактор Т.Н. Шаблинская
Технический редактор О.Н. Федоров

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Подписано к печати 15.01.2019 г. Формат 60×90 1/16.
Усл. печ. л. 2,9. Тираж 10 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОГУ имени И.С. Тургенева
302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95.

© Полохин О.В., 2019
© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1 4
1.1. Цель работы 4
1.2. Оснащение рабочего места 4
1.3. Общие положения 4
1.4. Порядок выполнения работы 11
1.5. Контрольные вопросы 14
Лабораторная работа №2 16
2.1. Цель работы 16
2.2. Оснащение рабочего места 16
2.3. Общие сведения 16
2.3.1. Основные сведения о сварочной дуге 16
2.3.2. Сущность процесса и область его применения 18
2.3.3. Электродные материалы и флюсы 24
2.4. Устройство и назначение оборудования 29
2.5. Порядок выполнения работы 34
2.6. Контрольные вопросы 36
Лабораторная работа №3. 37
3.1 Цель работы 37
3.2 Оснащение рабочего места 37
3.3 Общие сведения о процессе электроискровой обработки 37
3.4 Устройство и работа оборудования 44
3.5 Порядок выполнения работы 46
3.6 Контрольные вопросы 47

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ, ОБОРУДОВАНИЯ, ИНСТРУМЕНТОВ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ВИБРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

1.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Ознакомиться с особенностями процесса вибродуговой наплавки конструкции наплавочных аппаратов с механическим и электромагнитным вибраторами.
- Ознакомиться с параметрами процесса наплавки, их регулированием и произвести наплавку образца.
- Оценить влияние одного из параметров на процесс наплавки.

1.2. ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

- Головка вибродуговая наплавочная с механическим или индуктивным вибратором.
- Преобразователь типа ПСГ-500 - применяется для питания сварочной цепи.
- Дроссель для регулирования индуктивности сварочной цепи.
- Токарный станок с понижающим редуктором и оборудование для подачи охлаждающей жидкости или другой защитной среды (углекислый газ, воздух, пар и др.) или станок УД-209 (описан в разделе 2).
- Вольтметр с пределами измерения по шкале до 30 В и амперметр до 300 А
- для контроля электрических параметров в сварочной цепи.

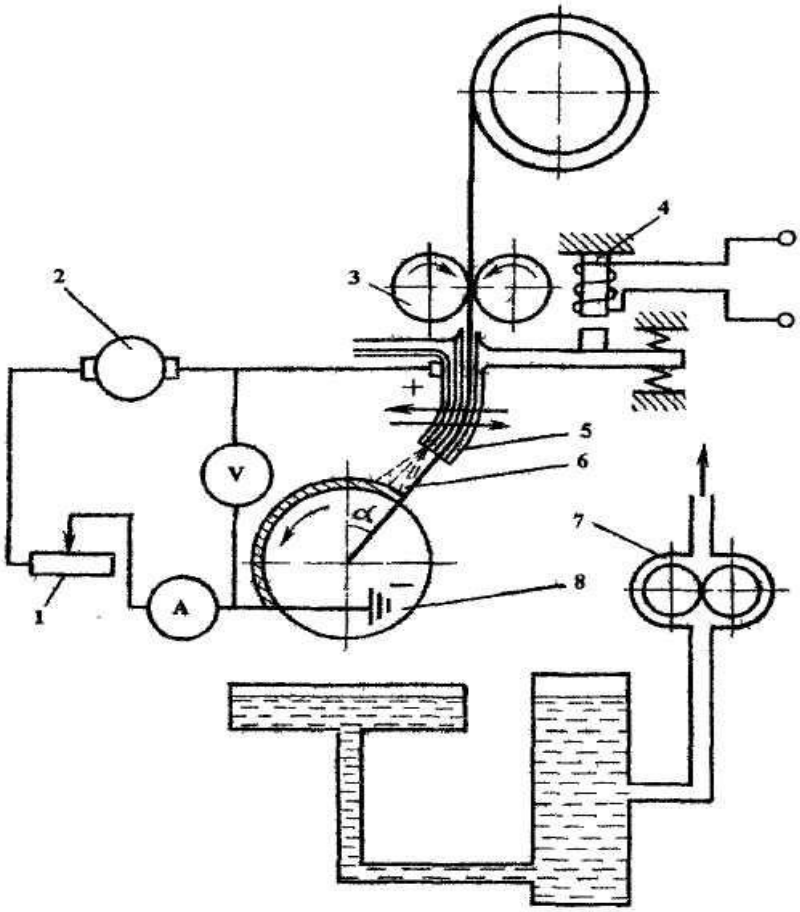
1.3. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В основе вибродугового метода наплавки - явление контактной сварки металлов и электрической дуги. Этот способ прост в освоении, позволяет наплавлять детали диаметром до 15 мм и выше, получать наплавленный слой толщиной от 0,5 мм до 3 - 3,5 мм за один проход.

Нагрев детали после наплавки практически не превышает 100° С. Тепловая деформация деталей, восстановленных этим способом в 6 - 12 раз меньше, чем при обычной электродуговой наплавке, а получаемые при этом слои имеют повышенную твердость, износостойкость получаемых покрытий в ряде случаев близка или даже превышает износостойкость новых термически обработанных деталей.

Отличительной особенностью вибродуговой наплавки является: применение источников питания низкого напряжения (16 - 22 В) с «жесткой» вольт-амперной характеристикой, вибрация электрода с частотой 50 - 100Гц, подача охлаждающей жидкости на наплавленную деталь и мундштук электрода, введение в сварочную цепь дополнительной, регулируемой по величине индуктивности (дросселя). Схема установки для вибродуговой наплавки представлена на рисунке 1.1.

Наплавляемая деталь 8 закрепляется в патроне токарного станка, оборудованного дополнительным редуктором, обеспечивающим вращение детали в диапазоне скоростей $n = 0{,}5 + 16$ оборотов в минуту и продольную подачу суппорта 2 + 8 мм/об



1 - дроссель, 2 - сварочный преобразователь, 3 - механизм подачи электродной проволоки, 4 - вибратор, 5 - мундштук, 6 - электродная проволока, 7 - насос для подачи охлаждающей жидкости, 8 - наплавляемая деталь

Рисунок 1.1-Принципиальная схема установки для вибродуговой наплавки

На суппорте токарного станка на изолированной прокладке устанавливается наплавочный аппарат 5, имеющий механизм подачи

электродной проволоки 3, устройство для вибрации электрода 4 и механизм пространственной регулировки подвода электрода 6 к детали. Для получения вибрации используется электромагнитный или механический (эксцентриковый) привод. Источник питания 2 (как правило, постоянного тока) подключается через рубильник к наплавочному аппарату (+); минусовая клемма источника (-) подключается к токосъемному устройству на шпинделе станка («минус» на детали), чем исключает прохождение сварочного тока через подшипники шпинделя станка.

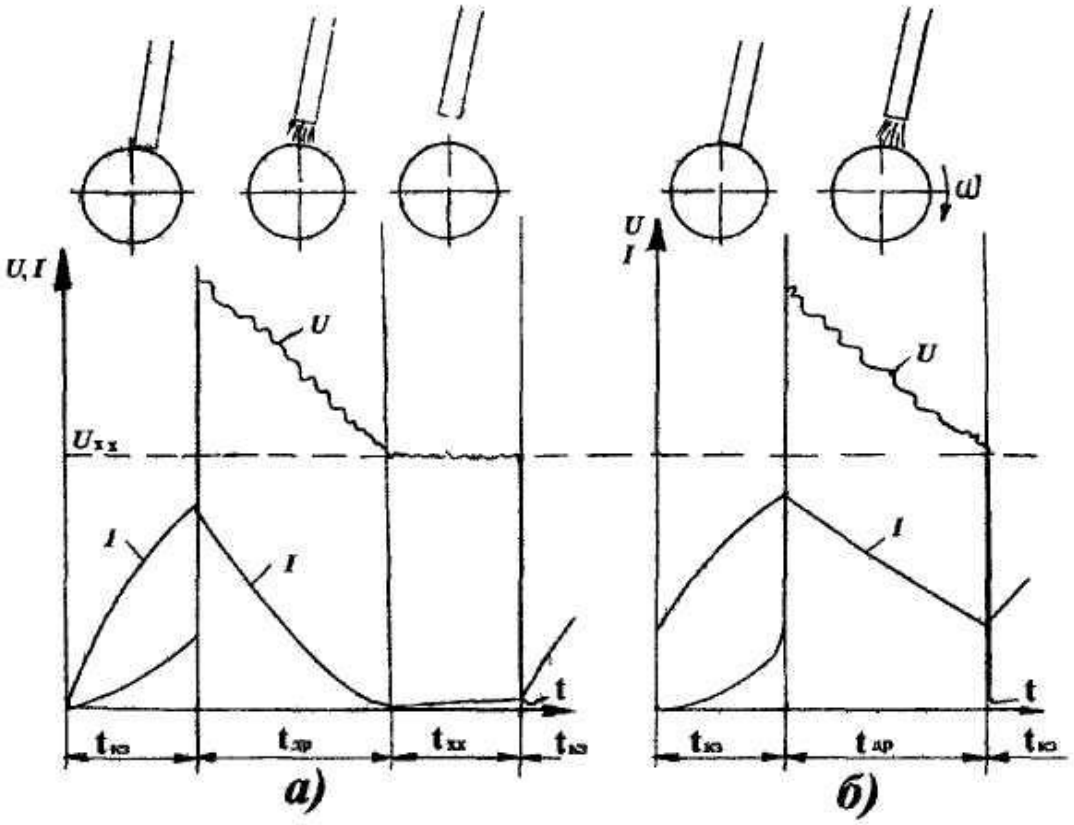
Для регулирования индуктивности в сварочную цепь последовательно включается дроссель 1. Охлаждающая жидкость к детали подается водяным насосом 7. В сварочную цепь включается амперметр А и вольтметр V. Вследствие колебаний электрода относительно детали величина межэлектродного промежутка (расстояние между электродом и деталью) изменяется от 0 до максимума, приблизительно равного амплитуде колебания электрода. С такой же частотой в каждый период колебания электрода происходит дуговой разряд между электродом и деталью. Процессы, происходящие на межэлектродном промежутке, подразделяются на несколько периодов. При подходе электрода к детали и касании их начинается период короткого замыкания. Он характерен тем, что напряжение между электродом и деталью падает почти до нуля, а ток сварочной цепи увеличивается от нуля до значения $I_{\max}$ (рисунок 1.2). В это время за счет джоулева тепла, выделяющегося в контакте электрод - деталь, происходит разогрев и оплавление металла электрода и детали. В зоне контакта образуется мостик из жидкого металла между электродом и деталью за счет сил поверхностного натяжения.

Величина тока I и скорость его нарастания зависят от индуктивности сварочной цепи: чем меньше индуктивность цепи, тем выше скорость нарастания тока, тем выше значения $I_{\max}$. При малых значениях индуктивности плотность тока в мостике из жидкого металла достигает нескольких тысяч ампер. Жидкий металл перегревается почти мгновенно до температуры кипения, и мостик взрывается, разбрызгивая жидкий металл.

Разрыв мостика жидкого металла является моментом окончания периода короткого замыкания $t_{КЗ}$ и началом нового периода дугового разряда $t_{ДР}$. Чтобы ограничить скорость нарастания тока I короткого замыкания и его величину, в сварочную цепь вводится дополнитель-

но индуктивное сопротивление (дроссель), которое снижает скорость нарастания тока в цепи. В период короткого замыкания дроссель аккумулирует часть энергии, поступающей от источника питания, преобразуя ее в энергию магнитного поля сердечника.

Разрыв мостика жидкого металла в конце периода $t_{КЗ}$ приводит к резкому увеличению сопротивления межэлектродного промежутка и снижения тока в сварочной цепи (начальный период принудительного отхода электрода от детали). Однако индуктивность сварочной цепи препятствует снижению тока. Накопленная в период $t_{КЗ}$ энергия магнитного поля сердечника дросселя переходит в электрическую энергию сварочной цепи. Причем электродвижущая сила самоиндукции совпадает по направлению с напряжением от источника тока. Эта дополнительная порция энергии (э.д.с самоиндукции) увеличивает напряжение на межэлектродном промежутке так, что оно становится выше напряжения холостого хода источника питания.



I -ток, U - напряжение, U_{xx} - напряжение холостого хода источника питания, $t_{КЗ}$ -период короткого замыкания, $t_{ДР}$ - период дугового разряда, t_{xx} - период холостого хода.

Рисунок 1.2 - изменение тока и напряжения в сварочной цепи при трехпериодном (а) и двухпериодном (б) процессах наплавки и положения электрода

Повышение напряжения и ионизация межэлектродного промежутка вследствие высокой температуры электродов приводят к возникновению дугового разряда длительностью 10^{-4}–10^{-2}С. Количество тепла, выделяемого этим разрядом, достаточно для того, чтобы расплавить конец электрода и перенести расплавленную каплю на наращиваемую поверхность. За время дугового разряда $t_{ДР}$ выделяется около 0,9 тепломощности цикла процесса вибродуговой наплавки. По мере оплавления электродной проволоки и удаления конца электрода от сварочной ванны происходит увеличение длины столба дуги и его сопротивления. Когда напряжение становится недостаточным, чтобы перекрыть увеличивающийся межэлектродный промежуток, дуга гаснет и начинается период холостого хода t_{xx} . В результате непрерывной подачи электродной проволоки и ее колебаний за время t_{xx} электрод снова приближается к детали, и с короткого замыкания начинается новый цикл процесса вибродуговой наплавки. Таким образом, цикл наплавки состоит из периодов $t_{КЗ}$, $t_{ДР}$ и t_{xx}, (рисунок 1.2а).

При наилучшем сочетании электрических и механических параметров наплавки (напряжение, ток, индуктивность, амплитуда колебания электрода и скорость его подачи) период холостого хода уменьшается до нуля, и процесс становится двухпериодным (рисунок 1.2 б)

С увеличением напряжения источника питания процесс наплавки протекает более стабильно, но увеличивается мощность дугового разрядами при других равных условиях снижается твердость наплавленного металла и увеличивается глубина проплавления детали. Величина тока в сварочной цепи устанавливается автоматически. При заданном напряжении величина тока зависит от диаметра и скорости подачи электрода, индуктивности сварочной цепи и сопротивления токопроводов и контактов. Например, для скорости подачи $V_э = 1{,}2 - 1{,}7$ м/мин электродной проволоки диаметром 1,6 - 1,8 мм величина тока в цепи устанавливается около 150 - 220 А. Индуктивность сварочной цепи регулирует скорость нарастания тока при коротком замыкании. При малых значениях индуктивности увеличивается разбрызгивание металла при наплавке (увеличивается коэффициент потерь металла, а при слишком больших значениях индуктивности увеличивается сопротивление сварочной цепи и, как следствие, снижается действующее значение тока и падает производительность (мощность) процесса наплавки). Обычно индуктивность цепи уста-

навливают в пределах 280 - 320 мкГ (6-8 витков дросселя РСТЭ-34). Амплитуда вибрации электрода оказывает значительное влияние на стабильность процесса наплавки и на разбрызгивание металла (коэффициент потерь). При слишком малой амплитуде вибрации электрода в отдельные моменты не происходит разрыва контакта электрода с деталью, как следствие, не происходит дугового разряда, а это нарушает стабильность процесса. С увеличением амплитуды увеличиваются потери металла на разбрызгивание и ускоряется износ вибратора и мундштука. На качество формирования слоя при наплавке большое влияние оказывает соотношение скоростей наплавки $V_н$ и подачи электродной проволоки $V_э$, а также величины продольной подачи суппорта (шаг наплавки). Чем больше соотношение $\frac{V_э}{V_н}$, тем больше сечение и высота наплавленного валика (усиление шва). Величину продольной подачи (шаг наплавки) устанавливают в зависимости от конкретных условий и величины соотношения $\frac{V_э}{V_н}$. Если для заданного соотношения $\frac{V_э}{V_н}$ подача слишком велика, поверхность наплавки будет гребнистой, и между наплавленными валиками могут остаться просветы - незаплавленные места. При слишком малой подаче может иметь место несплавление слоя с деталью вследствие того, что при наплавке каждого последующего валика активное пятно дуги будет полностью располагаться на поверхности ранее наплавленного валика, не распространяясь на новый участок поверхности наплавляемой детали. Расплавленный металл будет затекать на нерасплавленную поверхность детали, и наплавленный валик будет свариваться с предыдущим (ранее наплавленным), но не будет свариваться с деталью.

НЕДОСТАТКИ СПОСОБА

- Пористость наплавленного металла является следствием попадания атмосферных газов в зону дуги и образования газов в результате происходящих в жидком металле окислительно-восстановительных реакций. Борьба с пористостью путем улучшения условий защиты от внешней среды привела к появлению разновидностей способа: вибродуговая наплавка в среде пара, углекислого газа и др.

- Наличие трещин в наплавляемом металле является следствием высоких скоростей охлаждения наплавленного металла, имеющего столбчатую структуру и неметаллические включения (окисные пленки и др.).

- «Пестрота» структуры и твердости наплавленного металла образуется в результате неоднократного взаимного термического влияния наплавленных валиков, мартенситные зоны чередуются с различными зонами продуктов отпуска и распада мартенсита, а твердость зон термического влияния соответствует характеру структуры.

- Пористость, трещины, «пестрота» структуры и твердости, а также неблагоприятное распределение остаточных напряжений в слое (как правило, растягивающих) снижают усталостную (динамическую) прочность наплавленных деталей. В результате уменьшаются масштабы применения этого способа при восстановлении деталей, работающих в условиях динамических нагрузок. Для повышения качества деталей при восстановлении их вибродуговой наплавкой применяются различные металлургические (легирование, улучшение защитных средств и др.) и технологические способы (поверхностная упрочняющая обработка, различные виды термообработок, деформационно-термическая обработка).

- Большой угар легирующих элементов: (С – 25 - 45% от исходной концентрации).

Применение. Вибродуговую наплавку применяют на ремонтных предприятиях для восстановления широкой номенклатуры автотракторных деталей из углеродистых и низколегированных сталей, серого, ковкого и высокопрочного чугуна. Этим способом наплавляют наружные и внутренние цилиндрические поверхности, резьбу, шлицы и др. Вибродуговой наплавкой в жидкости восстанавливаются детали, не подвергающиеся большим переменным нагрузкам или имеющие большой запас динамической прочности, а вибродуговая наплавка в потоке воздуха, в среде углекислого газа или водяного пара позволяет восстанавливать детали, работающие при значительных динамических нагрузках (поворотные цапфы, рычаги поворотных цапф, полуоси, рулевые тяги и др.), и детали, изготовленные из серого и ковкого чугуна (ступицы колес, чашки дифференциалов и др.).

ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ. Электродная проволока для вибродуговой наплавки выбирается в зависимости от материала детали и условий работы сопряжения. Наиболее часто применяется угле-

родистая проволока с содержанием углерода от 0,1 до 0,8% (СВ-0,8, СВ-10, НП-30, НП-50, НП-65, НП-80, ПК-2).

Среди легированных проволок чаще применяется Нп-30 ХГСА. Для наплавки применяются холоднотянутые проволоки указанных марок диаметром 1,2; 1,6; 1,8 или 2,0 мм.

В качестве охлаждающей жидкости, как правило, применяется трех - пяти процентный раствор кальцинированной соды, которая уменьшает коррозию оборудования и способствует стабилизации дугового процесса (кальций имеет низкий потенциал выхода электронов).

Таблица 1.1 - Рекомендованные марки проволок по для сварки и наплавки сталей

Марка проволоки	Назначение
СВ-08ГС; СВ-08Г2С	Для сварки и наплавки низколегированных сталей
СВ-08 10ГС; СВ-18ХГС; СВ-08ХГ2С	Для сварки и наплавки низколегированных сталей повышенной прочности
СВ-08 ХГСМА; СВ-10 ХГ2СМА; СВ-08 ХГСМФА	Для сварки и наплавки теплоустойчивых сталей
СВ-06Х19Н9Т; СВ-07Х18Н9Т10; СВ-06Х19Н10М3Т; СВ-06Х20НИМ3ТБ; СВ-08Х20Н9Г7Т	Для сварки и наплавки хромоникелевых сплавов

Если для защиты сварочной ванны применяется углекислый газ, водяной пар, поток воздуха или кислорода (при наплавке чугунных деталей), то в установку входит оборудование и арматура для подвода газа к сварочной ванне.

1.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- Подготовить наплавочный аппарат:

а) при необходимости кассету заправить проволокой электродной и конец проволоки протолкнуть через наплавочный мундштук, установить вылет электрода 6-10 мм;

б) установить необходимую скорость подачи электрода. Скорость подачи электродной проволоки устанавливается подбором соответствующих пар шестерен редуктора подающего механизма.

В зависимости от скорости наплавки $V_н$ скорость подачи электродной проволоки $V_э$, устанавливается в пределах 1,2 - 2,0 м/мин.

$V_э$ = (1,2...2,5) $V_н$. (1.1.)

Приведенная зависимость справедлива при толщине наплавленного слоя более 1,2 мм.

Таблица 1.2 - Рекомендуемые режимы вибродуговой наплавки стальных деталей

Диаметр детали, мм	Толщина слоя наплавленного металла, мм	Диаметр электродной проволоки. мм	Скорость наплавки, м/мин	Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	Ток наплавки, А
20	0,3	1,6	2,2	0,6	120…150
40	0,7	1,6	1,2	0,4	120…150
60	1,1	2,0	1,0	0,8	150…210
80	1,5	2,0	0,6	1,0	150…210
100	2,5	2,5	0,3	1,1	150…210

- Проверить и при необходимости отрегулировать амплитуду вибрации конца электрода, которая должна быть равна 1,6 - 2,0 мм для электродных проволок диаметром 1,6 - 2,0 мм.

- Установить подготовленный для наплавки образец в патрон токарного станка и подготовить станок для наплавки:

а) пользуясь рычагами коробки продольных подач установить шаг наплавки. Шаг наплавки рекомендуется устанавливать:

$$S = (1{,}2 - 2{,}0)d_э \text{ мм/об},$$

где $d_э$ - диаметр электрода, мм

б) число оборотов образца (детали) определяют по зависимости.

$$n = \frac{d_э \cdot V_э}{h \cdot S \cdot D}\eta,$$

где $d_э$ - диаметр проволоки, мм;

$V_э$ - скорость подачи электрода, мм/мин;

η - коэффициент перехода металла проволоки в наплавленный слой

(η = 0,8 -0,9);

D - диаметр образца (детали), мм; h - необходимая толщина слоя наплавки, мм;

S - шаг наплавки, мм/об.

Пусть: $d_э$= 1,8 мм; $V_э$ = 1,59 м/мин (1590 мм/мин), тогда число зубьев ведущей Z = 34, ведомой Z = 35; h = 1,5 мм; S=(1,2 - 2,0) $d_э$ = 2,16 - 3,6 мм/об;

D = 30 мм; η = 0,85, тогда

$$n = \frac{1{,}8 \cdot 1590}{1{,}5 \cdot 2{,}16 \cdot 30} \cdot 0{,}85 = 25{,}1 \text{ об/мин}$$

$$n = \frac{1{,}8 \cdot 1590}{1{,}5 \cdot 3{,}6 \cdot 30} \cdot 0{,}85 = 15{,}1 \text{ об/мин}$$

Таким образом, значение оборотов детали при наплавке в зависимости от подачи (S) лежит в интервале 15,1 - 25,1 об/мин. Для уточнения значения оборотов детали необходимо провести пробную наплавку при различных значениях S и n (в пределах заданного).

При этом необходимо следить за тем, чтобы подача суппорта станка находилась в пределах 1/2 - 1/3 ширины одиночных валиков, из которых формируется слой.

Некоторые данные по выбору режима наплавки стальных валов проволокой 1,6 мм при напряжении 16 - 18 В приведены в таблице 1 3.

Таблица 1.3 – Режим наплавки.

№ режимов	Толщина слоя, мм		Скорость подачи электрода, м/мин	Число оборотов в мин шпинделя станка (детали)	Подача суппорта станка, мм/об	Сила тока, А
	После наплавки	После механической обработки				
1	$1{,}0^{+0{,}1}$	$0{,}5^{+0{,}1}$	1,3	1000:D*π	2,75	130
2	$1{,}5^{+0{,}2}$	$1{,}0^{+0{,}2}$	1,6	750:Dπ	2,75	150
3	$2{,}0^{+0{,}2}$	$1{,}4^{+0{,}2}$	1,6	500:Dπ	3,0	150
4	$2{,}5^{+0{,}25}$	$1{,}9^{+0{,}25}$	1,6	370:Dπ	3,0	150
5	$3{,}0^{+0{,}25}$	$2{,}4^{+0{,}25}$	1,6	300:Dπ	3,0	150
6*	$2{,}0^{+0{,}25}$	$1{,}2^{+0{,}25}$	2,5	750:Dπ	3,5	250
7**	$2{,}5^{+0{,}25}$	$1{,}5^{+0{,}25}$	2,5	600:Dπ	3,5	250
8**	$3{,}0^{+0{,}25}$	$2{,}0^{+0{,}25}$	2,5	370:Dπ	4,0	250

* D - диаметр наплавляемой детали, мм; π = 3,14

** - Воспроизведение режима наплавки 6, 7 и 8 (таблица 1.3) приводит к увеличению нагрева детали, а также к увеличению пористости слоя и припуска на его обработку. При наплавке проволокой диаметром более или менее 1,6 мм необходимо изменить скорость ее подачи по сравнению с указанной в таблице с тем, чтобы расход электродного материала в единицу времени остался таким же, как при наплавке проволокой диаметром 1,6 мм на принятом режиме

- Рукояткой поперечного перемещения установить конец мундштука так, чтобы точка касания электрода была смещена на 20 - 30° от зенита в сторону, противоположную вращению.

- Отрегулировать количество подаваемой жидкости и установить точку подачи ее Расход охлаждающей жидкости должен составлять 0,5 -1,5 л/мин, точка подачи ее должна находиться на расстоянии 15 - 20 мм от сварочной ванны по длине наплавляемого валика и со смещением на

- 5 - 10 мм в сторону наплавленного слоя

- Проверить включение дросселя. В сварочную цепь должно быть включено 6-8 витков дросселя.

Оптимальное сочетание перечисленных параметров может быть оценено стабильностью процесса наплавки, который контролируется по показаниям амперметра и вольтметра (их стрелки должны быть неподвижны или колебаться в пределах ± 10% от среднего положения) и по равномерности шума наплавки - равномерный шум свидетельствует о стабильности процесса.

- После проверки и настройки оборудования операции наплавки выполняются в следующем порядке:

а) включить станок - подачу охлаждающей жидкости - генератор (источник питания) - вибратор - рубильник сварочной цепи - подачу электродной проволоки - продольную подачу суппорта,

б) произвести наплавку по всей длине образца,

в) в обратной последовательности произвести отключение всех систем установки и рукояткой поперечных перемещений отнести мундштук аппарата от образца (детали),

г) снять наплавленный образец (деталь)

1.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Сущность вибродугового метода наплавки.
- Достоинства вибродуговой наплавки.

- Недостатки вибродуговой наплавки.
- Напряжение при наплавке.
- Рекомендуемый шаг наплавки.
- Амплитуда колебания электрода.
- Примеры деталей, восстанавливаемых вибродуговой наплавкой.

Лабораторная работа №2.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ НАЛАДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА

2.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Ознакомиться с особенностями процесса наплавки под слоем флюса и устройства конструкции наплавочных аппаратов.
- Ознакомиться с параметрами процесса наплавки, их регулированием и произвести наплавку образца.
- Оценить влияние одного из параметров на процесс наплавки.

2.2. ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

- Установка УД-209.
- Головка наплавочная ТМВК-2..
- Преобразователь типа ПСГ-500 - применяется для питания сварочной цепи.
- Токарный станок с понижающим редуктором.
- Вольтметр с пределами измерения до 100 В и амперметр до 400 А для контроля электрических параметров в сварочной цепи.
- Бункер для подачи флюса в зону горения дуги.
- Детали для наплавки.

2.3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.3.1. Основные сведения о сварочной дуге

Для сварки металлов используется теплота, выделяемая в столбе дуги на концах электродов.

Строение дуги прямого действия с использованием постоянного тока прямой полярности (минус на электроде). Наибольшая температура 6000 - 7500 °С достигается в середине столба дуги. С увеличением плотности тока температура возрастает. На катодном пятне стального электрода температура достигает 3600 °С (количество выделенного тепла Q = 36%), а на анодном пятне детали - 4300 °С (Q = 43%).

Разность температур на аноде и катоде используется при сварке плавящимся электродом. Детали из тонкого или легкоплавкого металла, а также из чувствительных к перегреву высокоуглеродистых, нержавеющих и легированных сталей сваривают током обратной полярности, т.е. деталь подключают к катоду, а электрод - к аноду.

Устойчивое горение дуги при сварке металлическим электродом наблюдается при напряжении 18 - 28 В.

Полное количество тепла, выделяемое сварочной дугой, определяется по формуле

$$Q = I \cdot U_g \cdot k, \qquad (2.1.)$$

где I - сила тока в дуге, А,

U_g - напряжение дуги, В,

k - коэффициент, учитывающий род тока

k =1 - при сварке на постоянном токе, k = 0,70 - 0,97 - при сварке на переменном токе.

Основное количество тепла (около 80%) выделяется в анодной и катодной зонах, причем на аноде больше. Под действием тепла, выделенного дугой, расплавляется металл электрода и детали. Часть тепла теряется на нагрев электрода, на разбрызгивание металла и в окружающую среду.

Эффективная тепловая мощность дуги - это количество тепла, вводимого дугой в свариваемый металл в единицу времени. Ее определяют по формуле

$$Q_э = Q \cdot \eta \qquad (2.2.)$$

где $Q_э$ - эффективная тепловая мощность дуги, Вт/с,

Q - полное количество тепла Вт/с,

η - эффективный кпд нагрева основного металла (его определяют экс периментальным путем - колориметрированием).

При сварке металлическим электродом голым или с тонким покрытием η = 0,50 - 0,65, электродом с толстым покрытием η = 0,70 - 0,85, неплавящимся электродом в защитных газах η = 0,50 - 0,60

Производительность сварки характеризуется количеством расплавленного электродного или присадочного металла (G) в единицу времени, которое определяется по формуле

$$G = k \cdot I \cdot t, \qquad (2.3.)$$

где k - коэффициент наплавки, г/Ач,

I - сварочный ток, А,

t - время горения дуги, ч

Коэффициент наплавки зависит от присадочного материала, материала электрода и состава его покрытия, рода и полярности тока, а также от потерь при сварке.

Иногда при нормировании сварочных работ удобнее использовать не количество наплавленного металла, а скорость наплавки, которую определяют по формуле

$$V = \frac{k \cdot I}{F \cdot \rho}, \qquad (2.4.)$$

где F - площадь поперечного сечения шва, см^2;

ρ - плотность металла шва, г/см^3 (для стали ρ = 7,85).

Потери электродного материала в виде брызг и паров при ручной сварке голыми и тонкостенными электродами составляют 10 - 20%, электродами с толстым покрытием - 5 - 10%, в защитных газах - 3 - 6% и под флюсом -2 - 3%.

2.3.2. Сущность процесса и область его применения

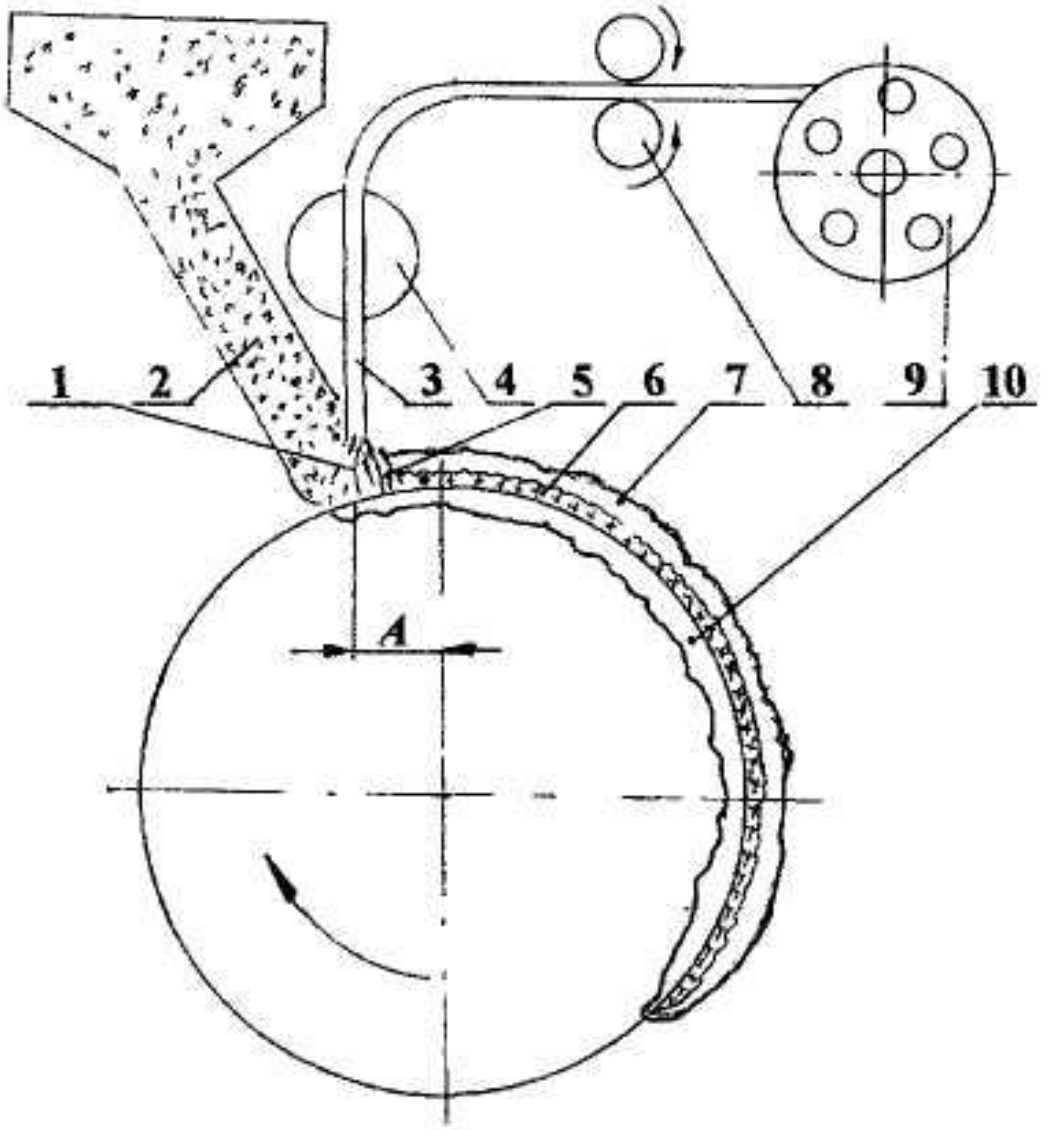
Автоматическая сварка под слоем флюса впервые создана в институте электросварки имени О.Е.Патона.

Этот способ заключается в следующем. В зону дуги 1 (рисунок 2.1) подается гранулированный флюс 2, который создает шлаковую защиту.

Дуга между основным металлом и голой электродной проволокой 3 горит под жидким слоем расплавленного флюса в пространстве 4, образованном парами и газами, выделяемыми в столбе дуги. Незначительное избыточное давление, возникающее в газовом пространстве, и слой флюса 30...50 мм надежно предохраняют расплавленный металл от вредного воздействия окружающего воздуха, в большой степени уменьшают разбрызгивание металла, улучшают формирование шва, использование тепла дуги и материала электродной проволоки. Электродная проволока 3 подается в зону сварки специальным механизмом со скоростью, равной скорости ее наплавления, и таким образом автоматически поддерживает горение дуги. Для получения шва деталь или электрод (дугу) механизированным способом перемещают одну относительно другой. По мере удаления дуги в направлении сварки (показано стрелкой) происходит остывание сварочной ванны 5, кристаллизация металла и формирование шва 6. Расплавленный флюс всплывает на поверхность и при остывании образует шлаковую корку 7, которая замедляет охлаждение металла и улучшает условия формирования его структурных превращений. Нерасплавившуюся часть флюса используют повторно.

Небольшой вылет электрода (расстояние от конца электродной проволоки 3 до токоподводящего мундштука 4) дает возможность увеличить плотность применяемых сварочных токов до 50-150 А/мм^2, т.е. примерно в 6 - 8 раз больше по сравнению с ручной дуговой сваркой.

Коэффициент наплавки составляет 14-18 г/Ач или в 1,5 - 2 раза выше, чем при сварке электродами вручную.



1 - зона горения дуги; 2 - флюс; 3 - электродная проволока; 4 - токоподводящий мундштук; 5 - зона остывания сварочной ванны; 6 - шов, 7 - шлаковая корка; 8 - механизм подачи сварочной проволоки; 9 - кассета со сварочной проволокой; 10 - зона термического влияния.

Рисунок 2.1-Схема наплавки под флюсом

В результате этого производительность автоматической сварки под слоем флюса в 6 - 10 раз выше ручной. Потери на разбрызгивание, угар и огарки составляют всего 1 - 3%. Кроме того, полное сплавление наплавленного металла с основным, возможность легирования и получения хорошего качества наплавленного металла (чистота, плотность, пластичность, износостойкость), а также отсутствие излучающего действия дуги и хорошие условия работы. Этот метод позволяет получить слой наплавленного металла в пределах от 1 до 8 мм и более на цилиндрических и плоских поверхностях деталей. Стабильность и автоматизация процесса способствует более широкому распространению сварки под слоем флюса на ремонтных предприятиях. Объем работ, выполняемых этим способом, из года в год возрастает.

Однако автоматическая сварка под слоем флюса имеет и недостатки. Большая глубина проплавления и перемешивание основного металла с присадочным во многих случаях влекут за собой повышенное легирование для получения износостойкого наплавленного слоя или последующего упрочнения.

Так как при работе не видно место сварки, то требуется повышенная точность подгонки и сборки детали перед сваркой, что в значительной степени затрудняет процесс при сложной конфигурации шва.

Почти всегда возникает необходимость и определенная трудность удаления шлаковой корки, а при наплавке цилиндрических деталей - трудность удержания расплавленных металла и флюса на поверхности.

Наплавка кольцевых швов на цилиндрическую поверхность деталей диаметром менее 80 мм затруднена, а для деталей диаметром менее 50 мм практически невозможна.

Серьезный недостаток - значительная стоимость флюса, а расход его по массе примерно равен массе наплавленной электродной проволоки, что значительно влияет на общую стоимость восстановленной детали.

Влияние отдельных параметров режима на качество наплавки.

При наплавке кольцевых швов на цилиндрические детали, чтобы уменьшить глубину проплавления и улучшить формирование шва, применяют смещение электродной проволоки с зенита детали на размер «а» в сторону, противоположную вращению детали. В этом слу-

чае жидкий металл, приближаясь к дуге, ослабляет давление ее газов на основной металл. Для тех же целей плоскую деталь при наплавке под слоем флюса наклоняют в сторону движения электрода.

Качество, форма и размеры, а также физико-механические свойства наплавляемого под флюсом шва во многом зависят от режима сварки. Основные параметры режима автоматической сварки под слоем флюса: сила сварочного тока, напряжение, скорость наплавки и скорость подачи электродной проволоки, вылет электрода, а при наплавке цилиндрических поверхностей дополнительно - смещение электрода с зенита и шаг наплавки.

Сила тока в значительной степени влияет на глубину проплавления основного металла и на производительность. С увеличением плотности тока возрастает давление газов дуги, расплавленный металл ванны интенсивнее вытесняется под электродом, и глубина проплавления увеличивается, одновременно повышается и производительность процесса. Со снижением плотности тока глубина проплавления уменьшается, но ухудшается устойчивость дуги и падает производительность. Изменение глубины проплавления зависит от силы тока и диаметра электродной проволоки. Силу тока в зависимости от диаметра или толщины наплавляемой детали выбирают в пределах 150-360 А.

При возрастании напряжения длина дуги увеличивается, дуга становиться более подвижной, и за счет этого заметно шире получается шов. Глубина проплавления в пределах обычного применяемого диапазона изменения напряжения (26 - 36 В) практически остается неизменной. С увеличением скорости наплавки до 20 м/ч глубина проплавления возрастает и уменьшается ширина шва. Такое изменение объясняется тем, что большая скорость перемещения сильно отклоняет дугу в сторону, а возрастающая горизонтальная составляющая давления дуги, сильнее вытесняет жидкий металл ванны из-под дуги и поэтому, несмотря на снижение энергии на единицу длины, дуга глубже погружается в основной металл. Повышение скорости сварки в диапазоне от 20 до 50 м/ч практически не увеличивает глубину проплавления, так как в этом случае возрастающее отклонение дуги и жидкого металла компенсируется уменьшением энергии дуги на единицу длины. При дальнейшем увеличении скорости сварки до 70 м/ч и выше уменьшение энергии дуги на единицу длины становится столь велико, что по сторонам шва образуются зоны непровара. Поэтому скорость наплавки обычно выбирают в пределах 15-45 м/ч.

Скорость подачи электродной проволоки выбирают в зависимости от силы тока и напряжения. Часто скорость подачи проволоки находится в пределах 100 - 300 м/ч при вылете электрода 15-50 мм. В конкретных условиях скорость подачи проволоки определяют пробными наплавками по качеству шва.

При наплавке изношенных поверхностей деталей выбирают режим наплавки таким, чтобы получить неглубокое проплавление основного металла с хорошим формированием шва. Шаг наплавки выбирают таким, чтобы наплавленный шов перекрывался последующим на 1/3 его ширины.

Основные параметры режимов наплавки приведены в таблицах 2.1,2.2,2.3.

Таблица 2.1 - Режимы наплавки цилиндрических поверхностей деталей

Вариант режима	Диаметр наплавляемой детали, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Режим наплавки			
			Ток , А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость наплавки, м/ч
1	50	1,2-1,6	110-130	25-28	70-100	14-18
2	60	1,6-2,0	170-180	26-28	70-120	20-24
3	80-90	2,0	170-200	26-29	120-150	20-24
4	100	2,0	170-200	26-29	120-150	20-24

Таблица 2.2 - Значения величин смещения электрода

Диаметр наплавляемой детали, мм	Смещение электрода, мм
50	4-5
50	5-6
80	6-7
90	7-8
100	8 и более

Для повышения производительности и снижения глубины проплавления применяют наплавку электродной лентой, многоэлектродную и многодуговую наплавку с поперечным колебанием электрода.

При наплавке электродной лентой достигается малая глубина проплавления и получается наплавленная поверхность до 100 мм за один проход. Доля основного металла в наплавленном шве составляет около 20%, в то время как при наплавке электродной проволокой доля основного металла достигает 65 - 70%.

Применение поперечных колебаний электрода также дает возможность получить широкий валик при малой глубине проплавления и повышение производительности наплавки.

Таблица 2.3 - Расчет параметров режимов наплавки деталей

Диаметр детали, мм	Число оборотов в мин.	Скорость наплавки, м/ч	Диаметр детали после обточки, мм	Толщина наплавки, мм	Вес наплавленного металла на длине 100 мм		Коэффициент использования проволоки	Отходы наплавленного металла при обработки, %	Расход флюса на 100 мм детали
					До обточки	После обточки			
50	2	18,25	53,25	3,25		206	0,792	20,8	770
	3	28,3	53,30	3,30	260	210	0,80	19,2	660
	4	37,7	53,55	3,35		214	0,822	17,7	580
60	3	33,9	62,0	2,70	260	207	0,795	20,4	600
	4	45,2	62,80	2,80		212	0,814	18,5	560
70	2	26,4	71,50	1,50		135	0,518	48,1	670
	3	39,6	71,80	1,80	260	165	0,618	38,1	570
	4	52,7	72,10	2,10		185	0,710	28,8	560
	5	66,9	71,70	1,70		145	0,550	44,2	560
80	2,5	37,7	81,30	1,30		129	0,496	50,2	570
	3	45,2	81,40	1,40	260	136	0,529	47,7	560
	2	60,3	81,60	1,60		160	0,616	38,5	560
	5	75,4	81,45	1,45		142	0,440	45,4	560

2.3.3. Электродные материалы и флюсы

- Электродные материалы.

Для наплавки под слоем флюса используют преимущественно голые сварочные и наплавочные проволоки, а также порошковые проволоки, стальные и порошковые ленты.

Стальную сварочную проволоку изготавливают по ГОСТ2246-70, который предусматривает выпуск 77 марок проволоки диаметром от 0,3 до 12 мм. Индекс Св. означает, что проволока сварочная; цифра, следующая за этим индексом, указывает среднее содержание углерода в сотых долях процента. Каждая последующая буква указывает наименование химического элемента, входящего в состав проволоки, а цифра после неё - содержание этого элемента в процентах. Отсутствие цифр после буквы означает, что данного элемента содержится менее 1%. Буква А в конце обозначения марки указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора, а две буквы А - на еще более повышенную чистоту металла.

Порошковая проволока представляет собой непрерывный электрод диаметром 2,5 - 5 мм, состоящий из металлической оболочки и порошкообразного наполнителя. В качестве наполнителя применяют смесь металлических порошков, ферросплавов, шлакообразующих и газообразующих материалов, подобных используемым для электродных покрытий. Широкий диапазон составления композиций наполнителя позволяет с достаточно большой точностью получить необходимое качество наплавленного слоя. Поэтому порошковая проволока находит все большее применение при механизированной наплавке для получения износостойких поверхностей. Относительный расход порошковой проволоки составляет 1,2 - 1,4 кг на 1 кг наплавленного металла. Тонкий слой шлака (застывшего флюса) обычно не мешает наплавке с перекрытием валиков без удаления шлаковой корки. Возможность видеть дугу и управлять ею позволяет легко наплавлять детали сложной формы. Коэффициент наплавки для проволоки большинства марок составляет 13-15 г/Ач, т.е. значительно выше, чем при наплавке штучными электродами.

Таблица 2.4 — Характерные режимы наплавки порошковой проволокой

Диаметр проволоки, мм	Ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость наплавки, м/ч
2,2-2,6	250-280	21-23	16-22
2,8-3,0	340-380	22-24	20-30

Потери на угар и разбрызгивание составляют 5-15%.

Порошковая проволока маркируется буквами ПП и применяется в широком диапазоне для наплавки открытой дугой в среде защитных газов и под слоем флюса.

Таблица 2.5 - порошковые проволоки для наплавки открытой дугой

Марки проволоки	Химический состав шихты, %								Твердость наплавленного металла	Назначение
	C	Cr	Mn	W	Si	Ni	V	Ti		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
*ПП-АН101	1,3	15,0	0,6	3,0 4,5	3,5	3,5		-	48-55	Наплавка деталей работающих при повышенных температурах и больших удельных нагрузках
ПП-АН170		20,0	0,6	3,0	0,6	0,4 0,8		0,2	60…65	То же в условиях интенсивного абразивного изнашивания
**ПП-1Х14Т-0	0,12 0,20	12,5 14,5	0,3 0,6	-	0,3 0,6	-		0,12 0,24	42…46	То же
ПП-АН125	2,0	15,0	1,0		1,5	-		0,3 0,4	52 60	То же в условиях интенсивного абразивного изнашивания и ударных нагрузок
ПП-У25Х1Т-0	2,3 3,2	15,0 21,0	1,0 1,5		0,5	-		0,1 0,3	40 48	

* ПП-АН - буквенное обозначение АН, расположенное после ПП, свидетельствует о том, что данная марка порошковой проволоки разработана в Институте электросварки им. Е.О Патона АН УССР.

** Если в конце марки проволоки стоит буква «О», то это указывает на то, что проволока предназначена для наплавки открытой дугой.

При наплавке под слоем флюса или в среде защитных газов применяются проволоки следующих марок: ПП-3Х2В8, ПП-АШ20, ПП-АН104 и др.

Недостатки: большая стоимость проволоки, 8 наплавленном металле образуется неравномерная структура и поры.

Сварочные флюсы предназначены для защиты зоны сварки от доступа воздуха, легирования наплавляемого металла и ряда других важных функций.

Компоненты флюсов делятся на:

- газозащитные, предназначенные для предохранения расплавленного металла от воздействия воздуха; к ним относятся пищевая мука, крахмал, декстрин, древесная мука и т.п.;

- шлакообразующие: титановый концентрат, марганцевая руда, полевой шпат, плавиковый шпат, кварц, мрамор, каолин и другие компоненты минерального происхождения;

- раскисляющие и легирующие: ферромарганец, ферросилиций, ферроти-тан, феррохром, алюминий и другие ферросплавы и металлы;

- стабилизирующие горение дуги: сода, поташ, двуокись титана и другие;

- связующие: жидкое стекло.

Флюсы по способу изготовления делятся на плавленые, наплавленные (керамические) и флюсы - смеси.

Плавленые флюсы получают путем сплавления шихты, состоящей из необходимых компонентов, в электрических или пламенных печах с последующей грануляцией. Они представляют собой сравнительно сложные силикаты, по своим свойствам близкие к стеклу.

Плавленые флюсы аморфны, стеклообразны (флюс - стекло) или пемзо-видны (флюс - пемза). Насыпная масса стеклообразного флюса 1,5-1,8 г/см^3, пемзовидного 0,6 - 0,9 г/см^3. Температура плавления флюса не более 1200 °С. В зависимости от преобладающего содержания легирующих элементов эти флюсы делятся на высококремнистые (SiO_2 > 30%), низкокремнистые и марганцовистые (MnO > 12%). В ремонтном производстве нашли применение марганцовистые и высококремнистые флюсы (таблица 2.6).

Таблица 2.6.

Марка флюса	Содержание компонентов, %								
	SiO_2	MnO	$A1_2Oз$	CaO	MgO	Fe_2O_3	CaF_2	S	P
АН-10	20-23	29,5 33,5	19-21	3,0	до 1,2	1,2	18-24	0,15	0,20
АН-20	22	до 0,5	30	5,0	11	-	29	0,08	0,05
АН-30	3	до 0,5	41,5	18,0	14,5	-	21	0,08	0,05

АН-348А	41-44	34 38	4,5	6,5	5,75	2,0	4,0-5,5	0,15	0,12
ОСЦ-45	38-44	38 40	45	6,5	2,5	2,0	6,0 9,0	0,15	0,15
АН-25	6-9	<0,5	2,0	12-15	2-4	2,0	33-40	0,08	0,08

Сварочные флюсы марок АН-348А, АН-348АМ, ОСЦ-45 и ОСЦ-45М применяются для наплавки преимущественно в сочетании с углеродистой, а иногда и с низколегированной проволокой. Недостатком этих флюсов применительно к наплавке является плохая отделяемость шлаковой корки при нагреве детали свыше 400 °С. Измельченную шлаковую корку можно добавлять к флюсу в количестве 20 - 25% по весу.

Флюс АН-20 используют в сочетании с низколегированной и высоколегированной проволокой. Шлаковая корка удовлетворительно отделяется при нагреве детали до 450 °С. Флюс сравнительно легкоплавок, и его трудно применять при наплавке деталей малых диаметров. Флюсы с повышенной концентрацией $A1_2Oз$ и MgO рекомендовано применять для наплавки чугунной лентой или чугунных деталей.

Для электрошлаковой наплавки применяют флюсы АНФ-1 и АН-25. Флюс АН-25 электропроводен в твердом состоянии и предназначен только для возбуждения электрошлакового процесса.

Приведенные флюсы позволяют получить наибольшую устойчивость дуги, меньшее выделение вредных примесей и в сочетании с углеродистыми и низколегированными электродными проволоками обеспечивают высокое качество наплавки.

Неплавленые флюсы (керамические) находят все большее применение в ремонтном производстве. Представляют собой механическую смесь легирующих, модифицирующих, раскисляющих и шлакообразующих компонентов, соединенных в общую массу жидким стеклом (18% от массы сухих компонентов).

Керамические флюсы открыли новые возможности применения автоматической дуговой сварки. В отличие от плавленых флюсов они позволяют в широком диапазоне легировать наплавленный слой при использовании дешевой низкоуглеродистой электродной проволоки Св-08. Керамические флюсы малочувствительны к ржавчине и другим загрязнениям.

Наибольшее применение для наплавки деталей получили керамические флюсы АНК-18, АНК-19 и ЖСН-1.

Флюс АНК-18 содержит в %: 6-7 $CaCO_3$; 26 - 28 CaF_2; 26 - 30 MgO, 17-18 $A1_2O_3$; 7-11 SiO_2; 2 - 2,5 Na_2O и K_2O; 5,2 - 6,5 Cr; 2 - 2,5 Mn; 0,12 - 0,20 C; 0,2 - 0,3 Ti; 1,9 - 2,0 Al; 0,2 - 0,3 Si; 3,0 - 4,0 Fe. Твердость наплавленной поверхности HRC 35 - 45 при наплавке проволокой Св 08А. Флюсы - смеси приготавливают преимущественно из плавленых и керамических флюсов. Чтобы уменьшить возможность разделения составляющих смеси, необходимо, чтобы масса, форма и размеры частиц флюсов были как можно близкими. В зависимости от того, какие свойства необходимо получить в наплавленном металле, применяют смесь флюсов АН-348А и АНК-18 в различных соотношениях.

Существуют и другие флюсы - смеси - АНЛ-1 (93% АН-10 и 7% алюминиевой лигатуры), АНЛ-2 (93% АН-2 и 7% алюминиевой лигатуры) и другие.

Введением во флюсы графита и различных ферросплавов удается легировать наплавленный металл углеродом, хромом, никелем, титаном и так далее. Так, добавление во флюс АН-348А 1 - 5% графита и 4 - 12% феррохрома позволяет получать износостойкий, качественный наплавленный слой с твердостью HRC 50 - 52.

Нет необходимости перечислять все возможные соотношения компонентов флюсов - смесей. В каждом конкретном случае на основании глубоких научных знаний особенностей металлургического процесса сварки, подбора сварочной проволоки и флюса, режимов процесса сварки можно получать поверхности с заданными физико-механическими свойствами, что обеспечит высокое качество отремонтированной детали.

2.4. УСТРОЙСТВО И НАЗНАЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Установка для наплавки деталей под слоем флюса представлена на рисунке 2.2.

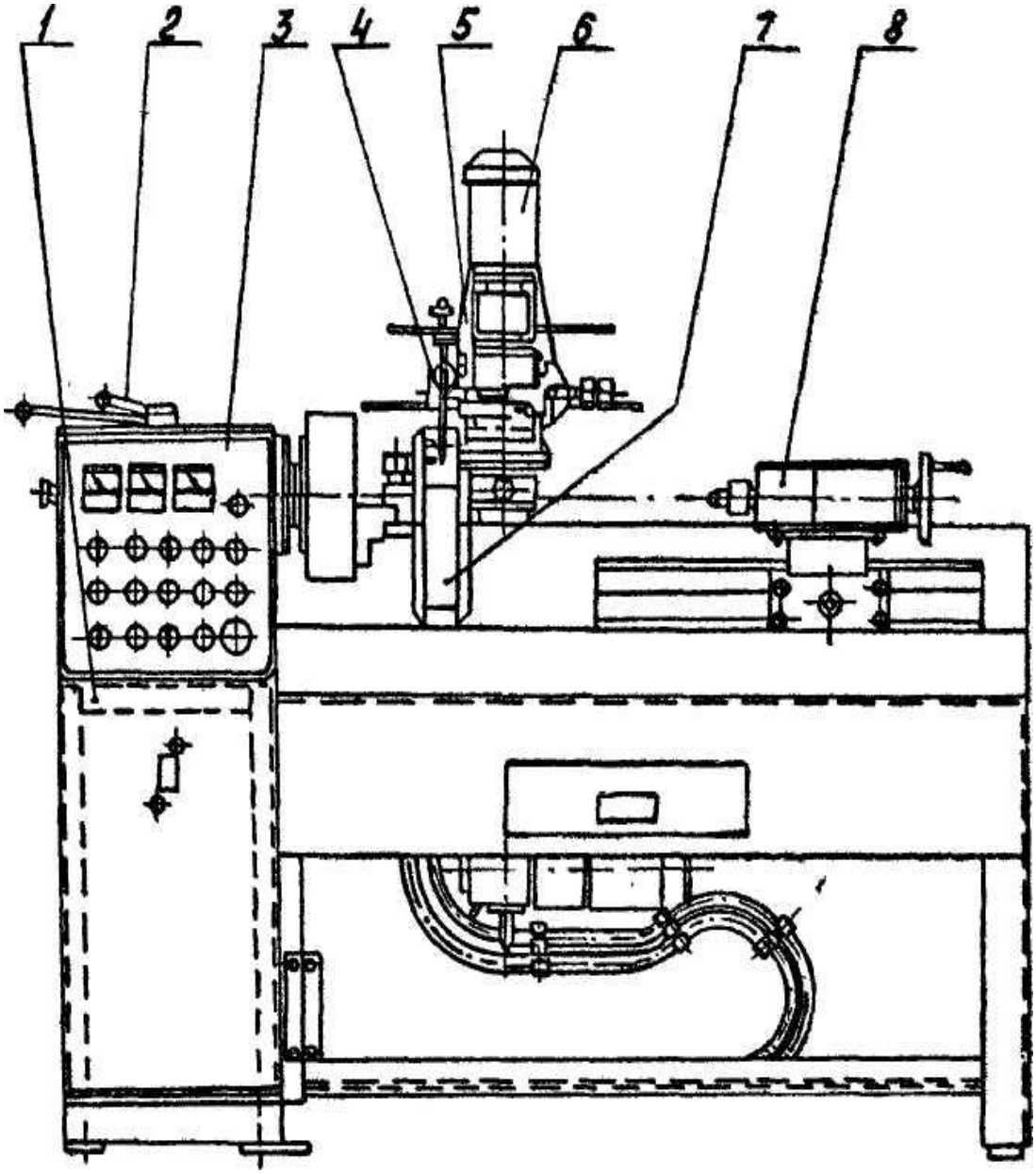
Установка состоит из станины 1, каретки 5, вращателя 2, механизма подачи 6, мундштука 4, пиноли 8, газоотсоса 7 и пульта управления 3.

Станина представляет собой сварную конструкцию из швеллеров, уголков и листовой стали. На станине установлены все узлы и механизмы. В тумбе станины размещены панели электрооборудования.

Каретка представляет собой плиту, на которой закреплены ролики. На корпусе каретки установлен механизм подъема сварочной

головки и механизм подачи электродной проволоки. Механизм подачи состоит из электродвигателя и червячного редуктора, соединенных между собой изоляционной муфтой и изолирующей прокладкой. Механизм подачи электрода выполнен совместно с колебателем мундштука и обеспечивает одновременную подачу и колебание электрода (при необходимости). Скорость подачи проволоки изменяют сменными шестернями.

При необходимости наплавки под флюсом на головке закрепляется бункер. Наплавочная головка представлена на рисунке 2.4.



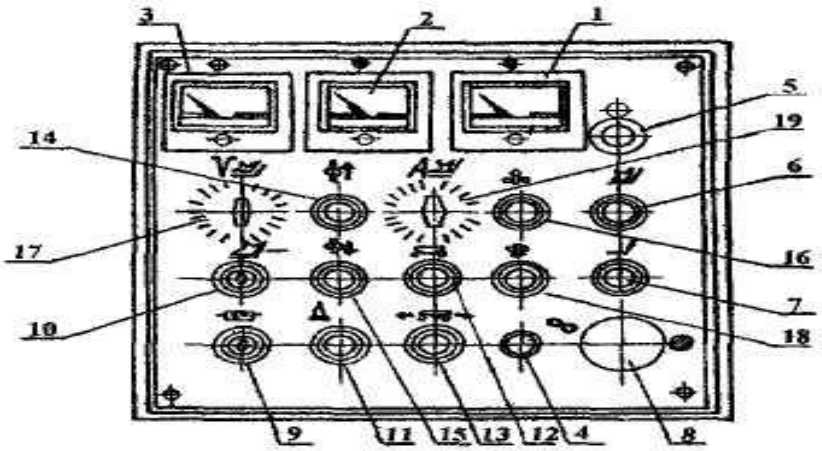
1 - станина; 2 - вращатель, 3 - пульт; 4 - мундштук, 5 - каретка; б - механизм подачи; 7 -газоотсос; 8 – пиноль.

Рисунок 2.2-Общий вид установки УД209.01.000

Вращатель предназначен для вращения наплавляемой детали, а также для синхронного перемещения каретки с помощью ходового винта. Вращатель представляет собой сварной корпус, в котором закреплены подшипниковые узлы, валы с шестернями. Привод вращателя осуществляется через клиноременную передачу и червячный редуктор от тиристорного электропривода с электродвигателем постоянного тока.

Пиноль 8 консольно закреплена на станине станка, перемещается вручную, закрепляется винтовым прижимом в необходимом положении и предназначена для поджима наплавляемой детали.

Пульт управления (рисунок 2.3) выполнен в виде панели и установлен на станине станка. На пульте установлены амперметр 1 (PA) и вольтметр 2 (P1) контроля сварочной дуги, резистор 17 (P1) изменения частоты вращения шпинделя, резистор 19 (P5) регулировки сварочного напряжения, а также кнопки и переключатели, назначение которых указано на рисунке 2.3



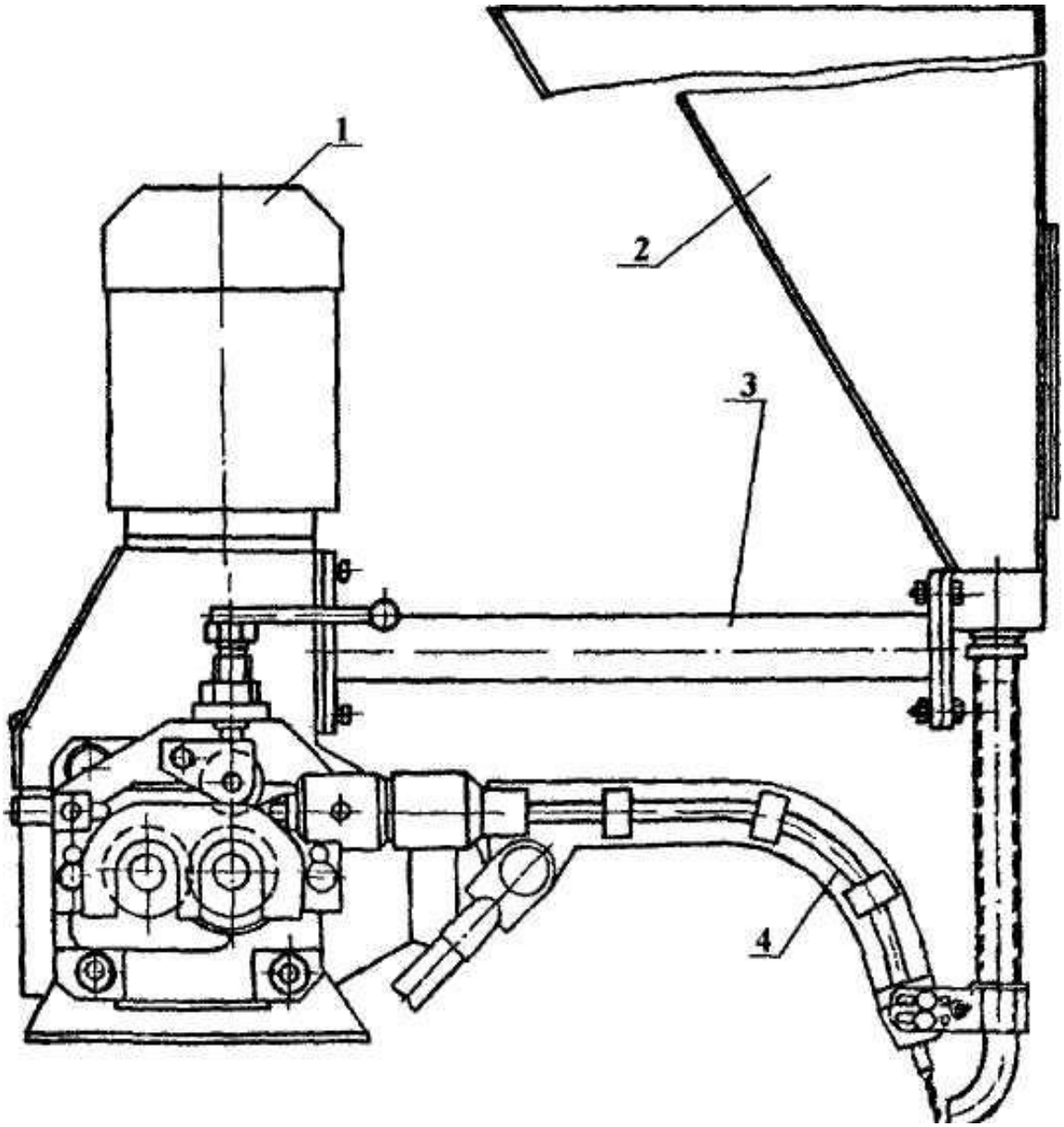
1 - амперметр PA; 2 - вольтметр PV1; 3 - вольтметр, указатель оборотов шпинделя

P V2; 4 - сигнальная лампа «напряжение подано» HI; 5 - сигнальная лампа «готово к сварке» H2; 6 - кнопка S18 «пуск сварка»; 7 - кнопка S17 «стол сварка»; 8 - кнопка S3 «стоп аварийно»; 9 - переключатель S21 «подогреватель газа»; 10 - переключатель S2 «спиральная - продольная наплавка»; 11 - кнопка S20 «газ»; 12 - кнопка S7 «каретка включена»; 13 -переключатель S8 «каретка вправо-влево»; 14 - кнопка S13 «вверх»; 15 - кнопка S14 «вниз»; 16 - кнопка S11 «электрод вверх»; 17 - резистор R1, 18 - кнопка S12 «электрод вверх»; 19 - резистор R5

Рисунок 2.3-Пульт управления

Для пуска и выключения наплавочной установки, а также для контроля за ее работой служит щит управления с приборами (рисунок 2.3).

При выполнении наплавочных работ необходимо, чтобы частота вращения шпинделя станка плавно регулировалась в интервале 0,4 - 20 мин^{1}.



1 - механизм подачи проволоки; 2 – бункер; 3 – кронштейн; 4 – мундштук.

Рисунок 2.4-Наплавочная головка

НАСТРОЙКА СТАНКА НА ЗАДАННЫЙ РЕЖИМ

Величины скорости подачи электрода и скорости наплавки назначаются технологом-сварщиком в зависимости от диаметра изде-

лия, способа наплавки, материала изделия, диаметра и материала сварочной проволоки

- Наплавка цилиндрических поверхностей по спирали.

Например наплавить деталь диаметром 200 мм со скоростью 30 м/ч по спирали, шаг наплавки 4 мм ($t_{напл.}$).

Шаг наплавки равен:

$$t_{напл} = \frac{S}{b:a}, \qquad (2.5.)$$

где S - шаг ходового винта.

Необходимое передаточное число сменных шестерен при заданном шаге наплавки 4 мм.

$$b:a = \frac{8}{4} = 2$$

По таблице 2.7. подбираем число зубьев сменных шестерен *b*=72 (установлена на ходовом винте), *a* = 36.

Таблица 2.7-Подбор сменных шестерен для настройки шага при спиральной наплавке

Шаг наплавки	(винт)	
12,6	42	66
11,6	44	64
10,0	48	60
9,3	50	58
8,6	52	56
7,4	56	52
6,9	58	50
6,4	60	48
5,5	64	44
5Д	66	42
4,7	68	40
4,3	70	38
4,0	72	36
3,4	76	32
3,1	78	30
2,8	80	28

По номограмме частоты вращения шпинделя на пересечении горизонтали = 200 мм и вертикали = 30 м/ч находим необходимую частоту вращения шпинделя - 0,795 мин$^{-1}$.

При отсутствии номограммы частота вращения может быть определена из формулы:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \qquad n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{мин}^{-1}. \qquad (2.6.)$$

По графику частоты вращения определяем, что указанная частота вращения может быть получена плавным изменением частоты вращения вала электродвигателя тиристорного привода поворотом ручки резистора.

Линейная наплавка.

При этом виде наплавки рукоятку реверса шпинделя устанавливают в нейтральное положение (шпиндель не вращается).

Линейная скорость наплавки определяется по формуле:

$$V_{напл} = t_{х.в.} \cdot n_{х.в.} = 0{,}84 \cdot n_{х.в.}, \qquad (2.7.)$$

$$n_{х.в.} = \frac{V_{напл}}{0{,}48}, \text{мин}^{-1} \qquad (2.8.)$$

где $V_{напл}$ - заданная скорость линейной наплавки;

$n_{х.в.}$ - частота вращения ходового винта;

$t_{х.в.}$ - шаг нарезки ходового винта. $t_{хе}$ =8

Сменными шестернями *b:a* устанавливаем необходимую частоту вращения ходового винта.

При заданной скорости наплавки 48 м/ч получаем $n_{хв}$ = 100 мин$^{-1}$.

2.5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Подготовить наплавочный аппарат.

а) при необходимости кассету заправить сварочной проволокой и конец проволоки протолкнуть через наплавочный мундштук, установить вылет электрода 15-20 мм;

б) при необходимости засыпать в бункер 6 (рисунок 2.1) флюс и убедиться в беспрепятственном его поступлении в зону сварки. Для этого необходимо открыть заслонку на нижнем конце шланга 9 и убедиться в наличии флюса на детали. Если флюс поступает слабо, необходимо легонько постучать по бункеру 6 и шлангу 9;

в) установить необходимую скорость подачи электрода. Скорость подачи электродной проволоки устанавливается подбором соответствующих пар шестерен 11 редуктора подающего механизма;

г) установить подготовленный для наплавки образец в патрон токарного станка и подготовить станок к наплавке. Пользуясь данными, приведенными в таблицах 2.1., 2.2., 2.3, выбрать необходимую частоту вращения, подачу и смещение 6 - 8 мм от зенита (в сторону, противоположную направлению вращения). Посредством рычагов передней бабки и коробки подач подбирают ближайшее значение частоты вращения и подачи. Для уточнения значения оборотов детали, подачи и смещения необходимо произвести пробную сварку на различных значениях (в пределах выбранного). При этом необходимо следить за тем, чтобы подача суппорта станка находилась в пределах 1/2 - 1/3 ширины одиночных валиков, из которых формируется наплавочный слой.

- После проверки и настройки оборудования операции наплавки выполняются в следующей последовательности:

а) включить преобразователь ПСТ-500 - станок и дать вращение шпинделю с зажатой в патроне деталью - открыть заслонку на шланге 9 и убедиться в обильном поступлении флюса на деталь - включить рубильник сварочной цепи и подачи электродной проволоки - включить продольную подачу суппорта;

б) произвести наплавку на заданной длине детали (образца);

в) в обратной последовательности произвести отключение всех систем установки и рукояткой поперечных перемещений отвести мундштук аппарата от детали (образца);

г) снять наплавленную деталь (образец);

д) занести в таблицу данные режимов наплавки.

Таблица – Значение опытных данных

таблица

Диаметр детали, мм	Ток сварки, А	Напряжение, В	Частоты вращения, $мин^{-1}$	Величина смещения, мм	Скорость наплавки, м/ч

2.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Сущность метода наплавки под слоем флюса.
- Достоинства и недостатки наплавки под флюсом.
- Оборудование, необходимое для наплавки.
- Сварочные флюсы.
- Режимы наплавки.
- Влияние параметров на качество наплавки.

Лабораторная работа №3.

ОСВОЕНИЕ НА ПРАКТИКЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ И НАРАЩИВАНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ (ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ) ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

3.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью выполняемой работы является приобретение знаний о физической сущности процесса электроэрозионной обработки и приобретения практических навыков упрочнения и наращивания изношенных деталей.

Кроме того, необходимо:

- Знать область применения и основные достоинства и недостатки метода;
- Изучить применяемое оборудование, оснастку и приспособления.

3.2 ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

- Установка ЭФИ - электром – ЮМ;
- Восстанавливаемые детали;
- Микрометр 0 – 50;
- Электрод (чугунный, стальной или др);
- Диэлектрический коврик;
- Светозащитные очки.

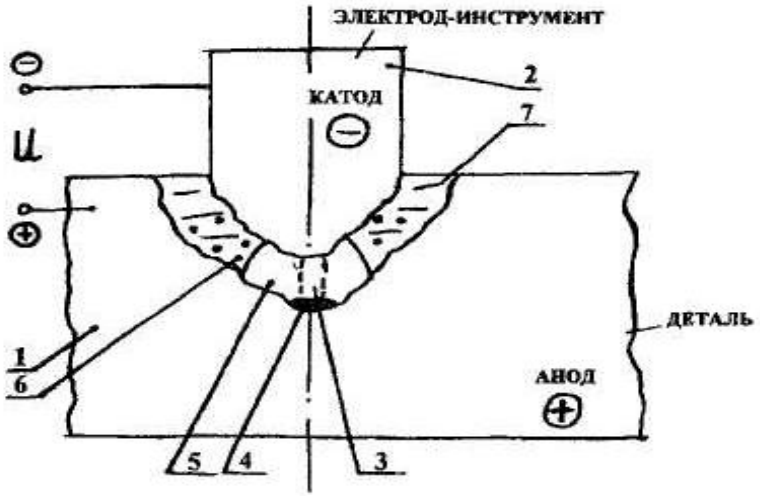
3.3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ

Сущность электроискрового (электроэрозионного) способа обработки деталей машин заключается в использовании разрушающего действия электрических искровых разрядных импульсов между электродами. Такая обработка возможна в жидкой и газообразных средах. Для этой цели применяются установки, работающие в двух вариантах.

- размерной обработки (съем металла) поверхности сверление (прошивка), шлифование и др.;
- электроэрозионного наращивания и упрочнения (легирования) деталей машин.

Рассмотрим физическую сущность процесса съема металла в среде жидкого диэлектрика (вода, керосин, масло и т. д.). В этом случае деталь является анодом, а электрод-инструмент - катодом (рису-

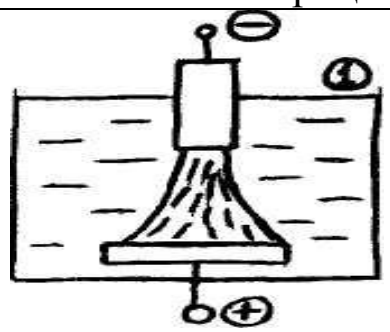
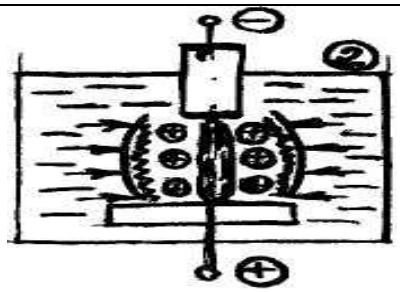
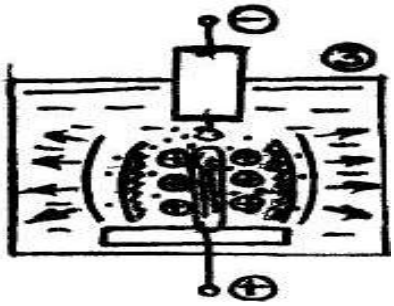
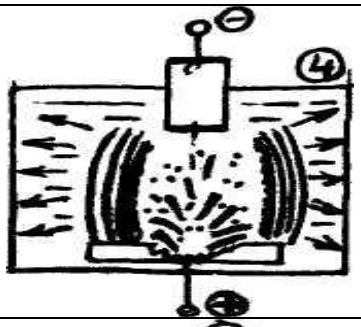
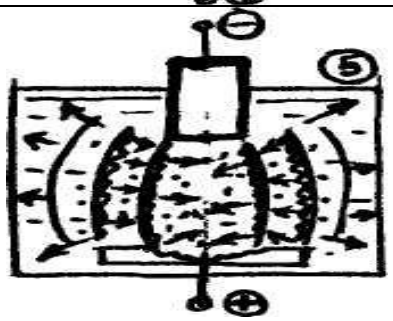
нок 3.1). Когда импульсное напряжение (от источника питания) между анодом (I) и катодом (2) достигнет определенной величины, происходит электрический пробой диэлектрической жидкости. В момент пробоя в межэлектродном пространстве (МЭП) поток электронов с катода устремляется к аноду (положительному электроду). Возникает плазменный канал разряда (3). Электроны достигают анода, тормозятся на его микроповерхности (4), выделяя огромное количество тепла. Поверхность анода в микрообъеме разогревается до температуры 10-1510^3 °С. В плазменном потоке (3) также выделяется джоулево тепло, что обуславливает поступление импульсных тепловых потоков на анод и катод. Материал детали из микрообъёма (4) выбрасывается в МЭП и охлаждается диэлектрической жидкостью. Благодаря выделению джоулевой теплоты канал разряда (плазменный поток) окружается газообразными продуктами распада рабочей среды, формируя газовый пузырь (5). Стенки расширяющегося пузыря выталкивают из МЭП рабочую среду, поток которой увлекает частицы (6) ранее выброшенного материала детали из лунки (4) и выводит их из МЭП.



1 - обрабатываемая деталь (анод), 2 - электрод-инструмент (катод), 3 - плазменный канал разряда, 4 - микрообъем поверхности детали - лунка, 5 - газовый пузырь, 6 -продукты эрозионного разрушения детали (материал, выброшенный из лунки 4), 7 - диэлектрическая жидкость, U - напряжение

Рисунок 3.1-Схема сверления (прошив) отверстия в детали электроискровым (электроэрозионным) способом

При захлопывании газового пузыря происходит гидравлический удар по поверхности анода. Так возникает явление электрической эрозий. Схема этого процесса представлена на рисунке 3.2.

	1. Ионизация среды между электродами (формирование канала сквозной проводимости)
	2. Передача энергии через канал сквозной проводимости (поток электронов в форме искрового разряда)
	3.Удар электронного луча о металлическую поверхность. Формирование газового пузыря
	4.Прекращение искрового разряда; выброс расплавленного, размягченного металла и ионизированного газа рабочей среды
	5. Деионизация газового промежутка, охлаждение выброшенного металла, захлопывание газового пузыря, гидравлический удар

1, 2, 3, 4, 5 - этапы прохождения искрового разряда

Рисунок 3.2 - Схема прохождения электрического тока через диэлектрическую жидкость*

* - Продолжительность всего процесса - одна десятимиллионная секунды.

Следует иметь в виду, что все виды электроискровой обработки деталей по способу «съём металла» имеют низкую (в 6 и более раз меньшую) производительность по сравнению с известными способами механической обработки (резание, шлифование).

Этот способ применяется для твердых (HRC>50) и сверхтвёрдых (HRC>60) материалов (инструментальные стали, металлокерамические пластины резцов, фрез), а также при изготовлении штампов сложной конфигурации, сверление отверстий в корпусе распылителей и др. виды работ.

В ремонтном производстве достаточно широкое распространение получило электроискровое (электроэрозионное) наращивание и легирование.

Если деталь включена в схему в качестве катода, а обрабатывающий инструмент в качестве анода и процесс протекает в газовой среде с вибрацией электрода, то на детали происходит отложение материала анода. Как правило, установки имеют несколько режимов обработки, которые применяются в зависимости от требований, предъявляемых к обработанной поверхности: чистоты, сплошности получаемого покрытия, толщины и пористости нанесенного слоя.

Чем мягче режим обработки, тем меньше энергия импульсов, тем меньше толщина слоя, получаемого в единицу времени на единице поверхности. Чем грубее режим, тем большая порция материала при этом переносится на деталь.

Специфической особенностью способа нанесения покрытий является то, что имеется предел толщины покрытий для каждого из режимов обработки. Характер зависимости толщины слоя от времени покрытия представлен на рисунке 3.3 , где представлен привес катода γ за время обработки в минутах. Из графика видно, что излишнее время обработки на грубых режимах приводит не к нанесению нового слоя, а к разрушению исходной поверхности.

Механизм переноса материала в этом случае аналогичен выше приведенному и отличается тем, что меняется полярность и отсутствует жидкая диэлектрическая среда.

Схема процесса переноса металла с анода на катод под действием импульсов электрического тока показана на рисунке 3.4.

При сближении электродов напряженность электрического поля увеличивается и при достижении определенного значения вызывает электрический разряд между ними. Через образовавшийся канал сквозной проводимости пучок электронов форсированно ударяется о твердую металлическую поверхность анода. И в этот момент от анода отделяется капля расплавленного металла, которая устремляется по направлению к катоду под действием разности потенциалов между электродами и электромагнитных сил канала сквозной проводимости. В момент последующего разрыва цепи тока исчезают сжимающие усилия электромагнитного поля - и частицы расплавленного металла летят широким фронтом, прилипая и частично внедряясь в поверхность катода. Через мгновение система вновь успевает накопить энергию и в момент замыкания электродов, сквозь раскаленные частицы, лежащие на поверхности катода, проходит следующий импульс тока, сопровождающийся механическим ударом движущейся массы электрода - анода. Этот импульс тока сваривает частицы между собой и прогревает тонкий слой поверхности катода.

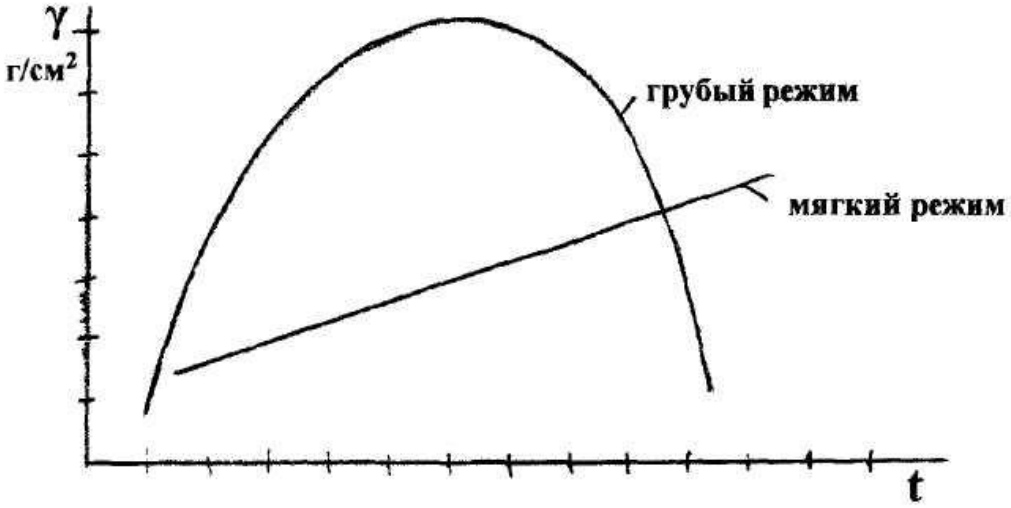
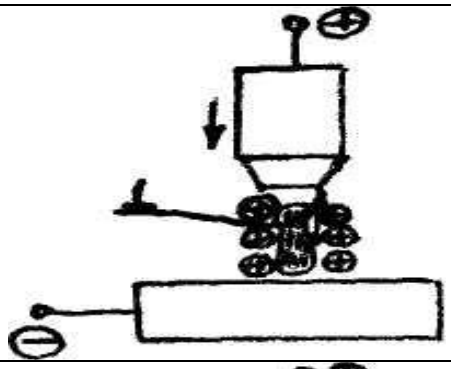
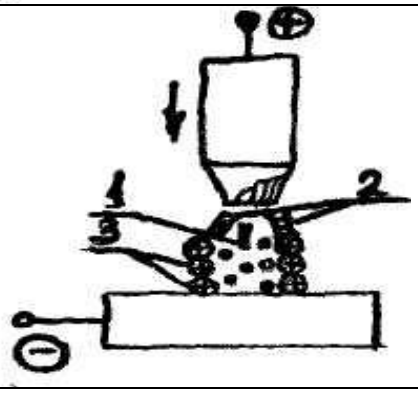
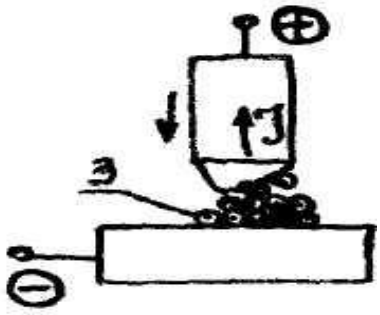


Рисунок 3.3-Зависимость толщины наносимого слоя от времени обработки

При этом происходит диффузия легирующих элементов в толщину катода, а также протекают химические реакции между этими частицами и материалом катода. После этого анод начинает движение вверх и на катоде остаётся слой металла, прочно соединившийся с поверхностью изделия. Так повторяется множество циклов, в течение которых происходят электрический разряд, короткое замыкание и холостой ход.

Во время электроискрового разряда на деталь через контакт проходит мощный импульс тока (до 10^5 - 10^6 А/мм^2), а температура искрового разряда достигает порядка 10 - 15 тыс. градусов. Присутствие в зоне высоких температур азота воздуха и различных веществ, входящих в состав электрода - инструмента (например: титана, кобальта, углерода и так далее), вызывает на поверхности и в подповерхностном слоях (до 0,8 мм) металла образование соответствующих легирующих соединений. Таким образом, при осуществлении электроискрового процесса возможно вводить в поверхность обрабатываемого изделия химические элементы, входящие в состав электрода и окружающей среды.

	Поток электронов через канал сквозной проводимости от катода к аноду
	Удар электронного пучка (луча) о поверхность детали и выброс ионизированного и расплавленного металла и ионизированного газа в направлении детали
	Проковка металлических частиц с одновременным прохождением импульса тока I

1 - поток электронов, 2 - ионизированный и расплавленный металл, 3 - частички размягченного металла

Рисунок 3.4 - Схема электроискрового (электроэрозионного) нанесения покрытий на деталь

Высокая твёрдость и износостойкость поверхностного слоя металла объясняется следующими явлениями:

- Взаимодействием металла изделия с азотом воздуха и образованием нитридов железа.
- Диффузией легирующих элементов, содержащихся в упрочняющем электроде, в нанесенный поверхностный и в подповерхностные слои изделия.
- Местной закалкой, возникающей в условиях быстрого нагрева и очень больших скоростей охлаждения.
- Многократным отпуском многих закаленных участков поверхности за счет тепла, выделяющегося при последующих импульсных разрядах.
- Сварочными явлениями частиц материала упрочняющего электрода на изделия (проковка нанесенного и подповерхностного слоя).

Итак, электроискровая обработка металлической поверхности при наличии в межэлектродном пространстве газовой среды, может быть использована в самых разнообразных целях, для увеличения износостойкости и твердости поверхностных слоев металла, для диффузионного легирования поверхностей, для увеличения размеров изделия и, наконец, для маркировки и росписи.

Усталостная прочность после электроискровой обработки уменьшается на 10 - 20% вследствие возникновения растягивающих напряжений в зоне сплавления нанесенного слоя с металлом детали и увеличения поверхностной шероховатости.

Детали, покрытые твердым сплавом Т15К6, противодействуют кавитационному разрушению в струе воды в 4 - 6 раз лучше, чем обычные.

Наращивание и легирование поверхностей деталей можно выполнять ручным и механическим способами. В последнем случае, кроме электроэрозионного оборудования, необходим токарный станок с редуктором для понижения частоты вращения, упрочняющая полуавтоматическая головка, устанавливаемая на суппорте станка, и пульт управления. В ремонтном производстве этот способ применяется для восстановления неподвижных посадок, упрочнения торцов стержней клапанов, бойков коромысел.

Режущий инструмент из быстрорежущей стали и рабочих органов с/х машин также целесообразно подвергать электроискровому упрочнению, увеличивая износостойкость в 1,5-3 раза (резцы, фрезы, развертки, сверла, сегменты, ножи для стрижки овец и так далее).

При этом поверхность будет иметь поры, мелкие раковины. После обработки сплошность поверхности составит 35 - 90%, 35% для грубых, 90% для мягких режимов.

Основным преимуществом электроискрового способа упрочнения металлических поверхностей, по сравнению с существующими способами нанесения, является следующее:

- Нанесенный слой имеет высокую микротвердость, прочную связь с основным металлом, большую износостойкость. Установка проста по конструкции и потребляет малую мощность (0,3 - 1,2 кВт).

Недостатками электроискрового упрочнения являются: малая глубина и толщина упрочненного слоя, низкая производительность. Толщина нанесенного слоя от 0,05 мм (мягкий режим) до 0,35 мм (грубый режим).

3.4 УСТРОЙСТВО И РАБОТА ОБОРУДОВАНИЯ

После ознакомления с установкой для электроискрового (электроэрозионного) наращивания и технологией обработки детали, а так же с особенностями процесса выбора электродов и техникой безопасности, можно приступать к выполнению лабораторной работы.

УСТАНОВКА ЭФИ-ЭЛЕКТРОМ-ЮМ

Электроискровая установка ЭФИ-ЭЛЕКТРОМ-ЮМ предназначена для изменения физико-химических свойств металлических поверхностей и их наращивания. Действие ее основано на способности полярных электрических импульсов вводить в обрабатываемую поверхность различные легирующие элементы или наносить на неё слой некоторых металлов.

В описываемой установке имеется 6 режимов обработки, предназначенных для осуществления как грубых, так и мягких режимов.

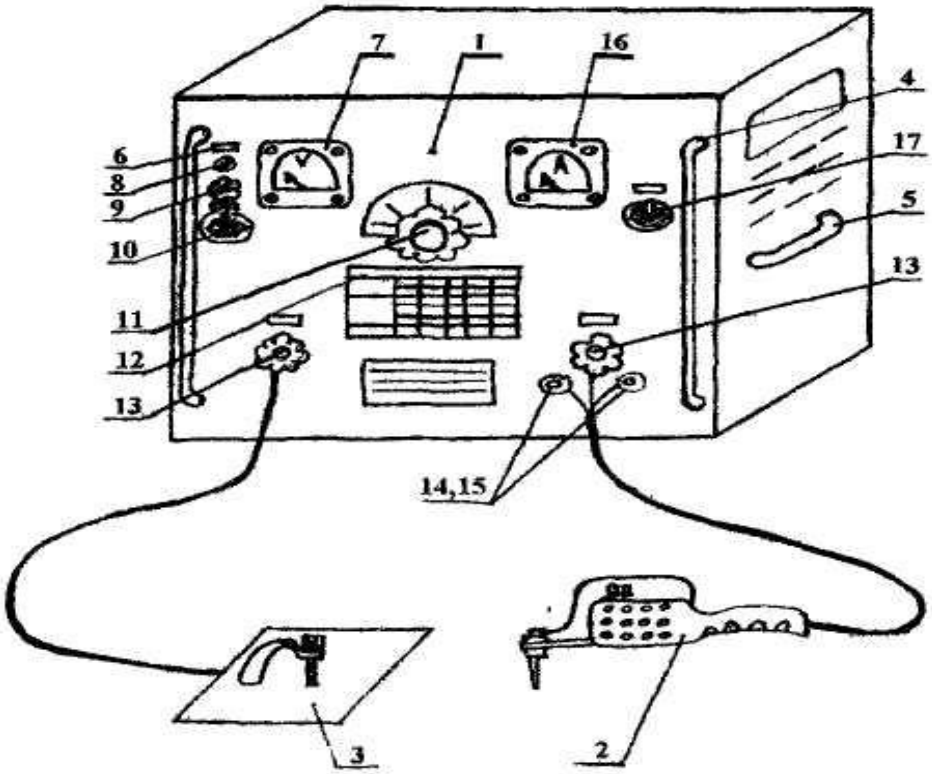
Установка (рисунок 3.5) состоит из силовой части, смонтированной в корпусе 1 внешней цепи рабочего контура, вибратора 2 и контактной пластины 3. На лицевой панели размещены следующие элементы установки: вольтметр 7 переменного тока на 250В; держатель 3; предохранитель на 5А; сигнальная лампа 9, заключенная в сетку; тумблер 10 для включения установки в сеть; ручка 11 переключателя

режимов; табличка 12 с указанием режимов обработки; клемма 13 для подключения токопровода к обрабатываемому изделию; клеммы 14, 15 для подключения вибратора; амперметр 16 постоянного тока на 5А; тумблер 17 переключения вибратора.

ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

При выборе электрических режимов необходимо руководствоваться характером упрочняемого изделия и его назначением. Если изделие имеет тонкое лезвие, обладающее малой массой, и не обеспечивает быстрый отвод тепла из отдельных зон обработки, то требуется только мягкий или средний режимы.

Если изделие имеет большую массу, а шероховатость нанесенного слоя не имеет существенного значения и требуется увеличить размер, то применяют грубые режимы.



1 – корпус; 2 – вибратор; 3 - контактная пластина (держатель); 4, 5 - ручки для транспортировки и перемещения установки на рабочем месте; 6 - вид питающего тока; 7 –вольтметр; 8 – предохранитель; 9 - сигнальная лампа; 10 - тумблер для включения установки в сеть; 11 - ручка переключения режимов; 12 - табличка с указанием режимов; 13 -клеммы для подключения токопроводов к вибратору и обрабатываемой детали; 14 и 15 -клеммы для подключения вибратора; 16 – амперметр; 17 -тумблер для включения вибратора.

Рисунок 3.5-Общий вид установки ЭФИ-ЭЛЕКТРОМ-10М

3.5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- Подготовить изделие к упрочнению очистить от загрязнении (масла, окалины, окислов и так далее), закрепить на контактной пластине.

- Подобрать материал упрочняющего электрода и прочно закрепить его в электродержателе.

- Назначить режим упрочнения.

- Подключить клеммы вибратора к контактной пластине.

- Проверить плотность контактных соединений.

- Включить установку в сеть с помощью двухпроводного шнура с вилкой.

- Включить тумблер включения установки в сеть, при этом должна загораться сигнальная лампа.

- Включить тумблер включения вибратора.

- Проверить работу вибратора. Для этой цели прижать электрод вибратора к контактной пластине и по показанию амперметра убедиться, что через электроды протекает ток короткого замыкания, соответствующий указанным в таблице режимам обработки. Затем, несколько ослабив, и этим дав возможность вибрировать якорю, убедиться, что рабочий ток находится в пределах, указанных в той же табличке для этого режима. Если рабочий ток не соответствует указанному в таблице, то регулируют вибрацию и устанавливают необходимое значение рабочего тока.

- Надеть защитные очки и начать обработку изделия. При обработке электрод перемещать по поверхности с небольшой скоростью 2-3 см/с, якорь должен четко вибрировать, не изменять силу, с которой электрод давит на изделие. Не допускать многократных проходов по одному и тому же месту (для грубых режимов). При упрочнении на 5 и 6 режимах необходимы перерывы через 0,5 мин, работы для охлаждения электрода.

- На предложенной детали, подлежащей восстановлению, определить площадь восстановления, затем по формуле определить длительность электроискрового упрочнения:

$$T = F \cdot \tau, \qquad (3.1.)$$

где T f - время упрочнения, с;

F -площадь упрочнения, мм^2;

τ - удельная длительность упрочнения, с/мм^2.

τ =3-6 с/мм^2 для упрочнения режущего инструмента; τ =0,3-1,0 с/мм^2 для упрочнения деталей машин.*

- После окончания упрочнения включить установку и разрядить емкость, прикоснувшись электродом, зажатым в вибраторе, к обрабатываемому изделию. Открепить и снять упрочняемое изделие.

- Провести внешний осмотр упрочняемой детали для выявления пропусков, прижогов оплавлений. Контроль осуществляется через лупу 5-10 кратного увеличения.

- Измерить диаметр или толщину упрочняемой детали с целью выявить увеличение этих размеров.

- На твердомере провести замер твердости, полученный результат сравнить с требованиями технических условий на твердость новой детали.

* Минимальные значения τ для мягких режимов, максимальные значения для грубых (5 и 6).

3.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой знак полярности (+ или -) имеет деталь при нанесении слоя материалов электрода и почему ?
2. Когда и какие применяются диэлектрические жидкости?
3. Как производится выбор электрода?
4. Какие детали подвергаются электроискровой обработке?
5. Кто автор и разработчик метода электроэрозионной обработки деталей?
6. Как проводят электроискровое наращивание?
7. В чем физическая сущность процесса?
8. Перечислите основные правила по технике безопасности.