

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

**МЕТОДЫ ФИНИШНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
(профиль «Обеспечение качественно-точностных характеристик при
изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном
производстве»)
всех форм обучения

Воронеж 2020

УДК 621.01
ББК 34.5

Составители: д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин,
канд. техн. наук, доц. М. Н. Краснова

Методы финишного упрочнения поверхности деталей машин: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 15.04.01. «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. Ю. Жачкин., М. Н. Краснова. — Воронеж, 2020. — 40 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению лабораторных работ, рассматриваются вопросы обеспечения точности при упрочнении деталей машин при использовании различных методов технологического воздействия.

Предназначены для студентов подготовки 15.04.01. «Машиностроение» (профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ.МФУПДМ.pdf.

Табл. 3. Библиогр.: 9 назв.

УДК 621.01
ББК 34.5

Рецензент — С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доц, кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях рассматриваются вопросы обеспечения точности при упрочнении деталей машин при использовании различных методов технологического воздействия. Это значительно упрощает усваивание теоретического материала. Методические указания составлены в соответствии с требованиями рабочей программы и предназначены для практического использования студентами при выполнении лабораторных работ.

В издании изложены требования и общие вопросы по выполнению лабораторных работ, составлены задания с необходимыми исходными данными. Выполнение задания дает возможность получения навыков в конструировании и расчетах инструментов с учетом физических особенностей процесса обработки и использованием государственных стандартов, учебной и справочной литературы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Восстановление деталей вибродуговой наплавкой

Цель работы:

1. Ознакомиться с особенностями процесса вибродуговой наплавки конструкции наплавочных аппаратов с механическим и электромагнитным вибраторами.
2. Изучить параметры процесса наплавки, их регулирования и произвести наплавку образца,
3. Оценить влияние одного из параметров на процесс наплавки.

Инструменты, приспособления: головка вибродуговая наплавочная с механическим или индуктивным вибратором; преобразователь типа ПСГ-500, применяющийся 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.); вольтметр с пределами измерения по шкале до 30 В и амперметр до 300 А для контроля электрических параметров в сварочной цепи.

Общие положения

Основа вибродугового метода наплавки - явление контактной сварки металлов и электрической дуги. Этот способ прост в освоении, позволяет наплавлять детали диаметром от 15 мм и более, 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 покрытия в ряде случаев близка или даже превышает износостойкость новых термически обработанных деталей.

Отличительными особенностями вибродуговой наплавки являются: применение источников питания низкого напряжения (16—22 В} с «жесткой» вольт-амперной характеристикой: вибрация электрода с частотой 50—100 Гц; 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 рис. 1.1.

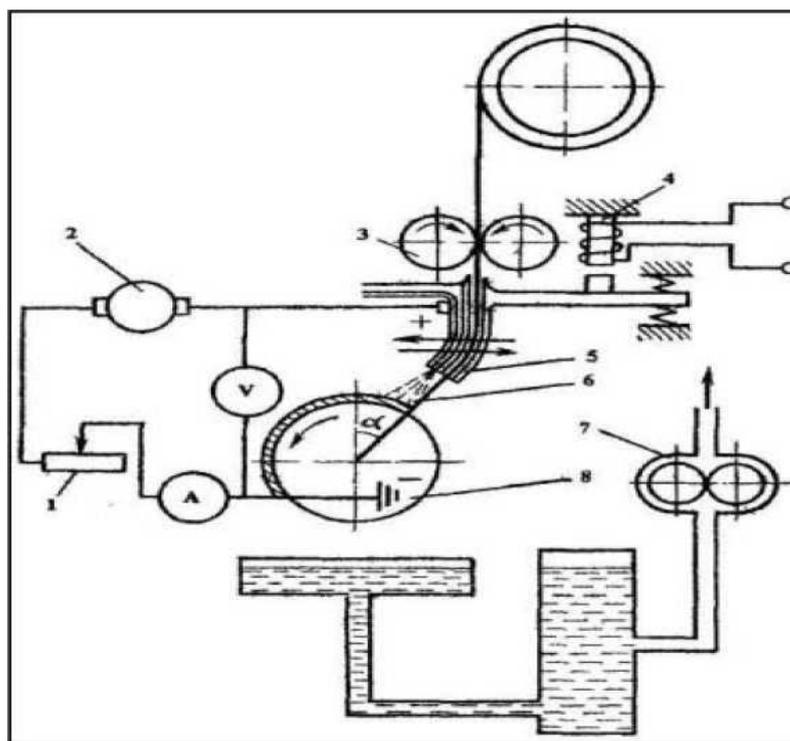


Рис. 1.1. Принципиальная схема установки для вибродуговой наплавки:
 1- дроссель; 2 - сварочный преобразователь; 3 - механизм подачи электродной проволоки; 4 - вибратор; 5 - мундштук; 6 - электродная проволока; 7 - насос для подачи охлаждающей жидкости; 8 - наплавляемая деталь

На суппорте токарного станка на изолированной прокладке устанавливается наплавочный аппарат, имеющий механизм подачи электродной проволоки 3, устройство для вибрации электрода 4 и механизм пространственной регулировки подвода электрода 6 к детали 5. 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 токосъёмному 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 подаётся 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} (рис. 1.2), В это время за счет джоулева тепла, выделяющегося в зоне контакта «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 $t_{\text{кз}}$ и началом нового периода дугового разряда $t_{\text{др}}$. Чтобы ограничить скорость нарастания тока I короткого замыкания и его величину, в сварочную цепь вводится дополнительно 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 $t_{\text{кз}}$ 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 $t_{\text{кз}}$ энергия магнитного поля сердечника дросселя переходит в электрическую энергию сварочной цепи. При этом 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.

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 $t_{\text{др}}$ 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 $t_{\text{хх}}$. В результате непрерывной подачи электродной проволоки и ее колебаний за время $t_{\text{хх}}$ электрод снова приближается к детали, и с короткого замыкания начинается новый цикл процесса вибродуговой наплавки. Таким образом, цикл наплавки состоит из периодов $t_{\text{кз}}$, $t_{\text{др}}$, $t_{\text{хх}}$ (рис. 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 (рис. 1.2).

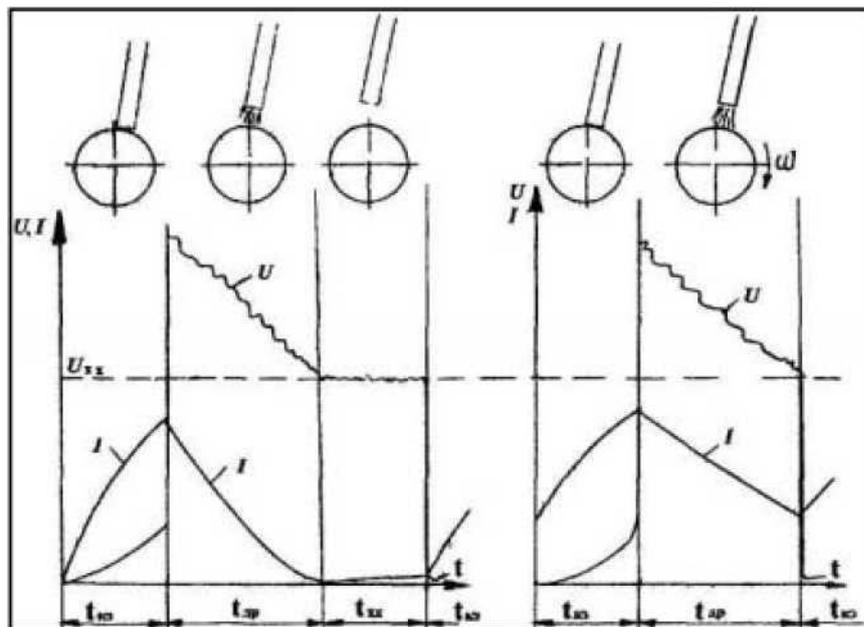


Рис. 1.2. Изменение тока и напряжения в сварочной цепи при трехпериодном и двухпериодном процессах наплавки:

I – ток; U — напряжение; $U_{жх}$ - напряжение холостого хода источника питания; $t_{кз}$ – период короткого замыкания; $t_{др}$ – период дугового разряда; $t_{хх}$ - период холостого хода

С увеличением напряжения источника питания процесс наплавки протекает более стабильно, но увеличивается мощность дугового разряда. 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 $V_{\text{Э}} = 1,2 - 1,7$ 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 устанавливают 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_n и подачи электродной проволоки $V_э$, а также величины продольной подачи суппорта (шаг наплавки). Чем больше соотношение $V_э / V_n$, тем больше сечение и высота наплавленного валика (усиление шва). Величину продольной подачи (шаг наплавки) устанавливают в зависимости от конкретных условий и величины соотношения $V_э / V_n$. Если для заданного соотношения $V_э / V_n$ 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 наплавливаемой 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 наплавленном металле является следствием высоких скоростей охлаждения наплавленного металла, имеющего столбчатую структуру и неметаллические включения (окисные плёнки 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 углеродистая проволока с содержанием углерода от 0,1 до 0,8 % (СВ- 0,8, СЕ-10, НП-30, НГ1-50, НП-65, НП-80, ПК-2).

Таблица 1.1

Рекомендованные марки проволок по ПОСТ 2246-71
для сварки и наплавки сталей

Назначение	Марка проволоки
Для сварки и наплавки низколегированных сталей	СВ-08 ГС; СВ-08Г2С
Для сварки и наплавки низколегированных сталей повышенной прочности	СВ-0810ГС; СВ-18ХГС; СВ-08ХГ2С
Для сварки и наплавки теплоустойчивых сталей	СВ-08ХГСМА; СВ-ЮХГ2СМА; СВ4ЖХГСМФА
Для сварки и наплавки хромоникелевых сплавов	СВ-06Х19Н9Т; СВ-07Х18Н9Т10; СВ-06Х19Н10М3Т; СВ-06Х2ОНИМ3ТБ;

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 трехпроцентный раствор кальцинированной соды, которая уменьшает коррозию оборудования и способствует стабилизации дугового процесса (кальций имеет низкий потенциал выхода электронов),

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.

Содержание отчёта о работе:

1. Цель работы;
2. Применяемое оборудование;
3. Методика выполнения работы;
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какова сущность вибродугового метода наплавки?
2. Какие достоинства у вибродуговой наплавки?
3. Какие недостатки вибродуговой наплавки?
4. Какое напряжение при наплавке?
5. Какой рекомендуемый шаг наплавки?
6. Какова амплитуда колебания электрода?
7. Какие детали восстанавливают вибродуговой наплавкой?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Наплавка деталей под слоем флюса

Цель работы:

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

Оборудование, инструменты, приспособления: токарный станок, переоборудованный под наплавку; головка наплавочная А-580М; преобразователь типа ПСГ-500, применяющийся для питания сварочной цепи; 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.

Общие положения

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, нержавеющей 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.

Паяное количество тепла, выделяемое сварочной дугой, определяется по формуле:

$$Q = I \cdot U_g \cdot k,$$

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, причём на аноде больше. Под действием тепла, выделенного дугой, расплавляется металл электрода и детали. Часть тепла теряется на нагрев электрода, на разбрызгивание металла в окружающую среду.

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

$$Q_{\text{э}} = Q \cdot \eta,$$

где $Q_{\text{э}}$ - эффективная тепловая мощность дуги, Вт/с;

Q - общее 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 $\eta = 0,50-0,65$, электродом с толстым покрытием $\eta = 0,70-0,85$, неплавящимся электродом в защитных газах $\eta = 0,50-0,60$.

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

$$G = k \cdot I \cdot t,$$

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:

$$V = \frac{k \cdot I}{F \cdot \rho}$$

где F - площадь поперечного сечения шва, см²;

ρ - плотность металла шва, г/см³ (для стали $\rho = 7,85$).

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 %.

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

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

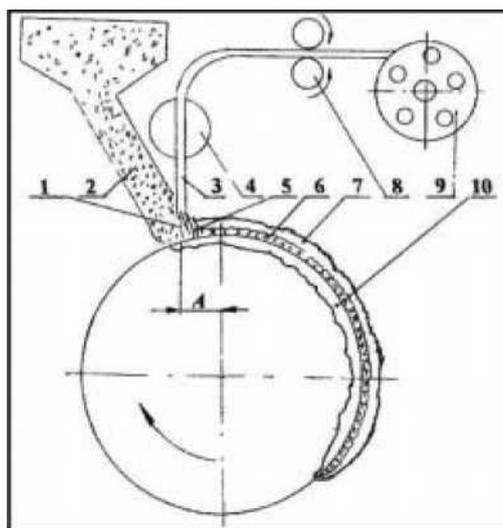


Рис. 2.1. Схема наплавки под флюсом:

- 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

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 надёжно предохраняют расплавленный металл от вредного воздействия окружающего воздуха, в большом 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. Не расплавившуюся 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 $50-150 \text{ А/мм}^2$, 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. Этот метод позволяет получить слой наплавленного металла в пределах от 1 до 8 мм и более на цилиндрических и плоских поверхностях деталей.

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 места 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 расплавленного металла и флюса па 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 цилиндрически с 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 случае 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 наплавленного 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 па 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 наплаваемой детали выбирают в пределах 150-360 А.

При возрастании напряжения длина дуги увеличивается, дуга становится 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.

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.

Электродные материалы и флюсы

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 ГОСТ 224670, 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 диа-

метром 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.

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.

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, в наплавленном металле образуется неравномерная структура и поры.

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, ферротитан, феррохром, алюминий и другие ферросплавы и металлы;

— стабилизирующие горение дуги: сода, поташ, двуокись титана и другие.

Флюсы по способу изготовления делятся на плавленные, неплавленные (керамические) и флюсы-смеси.

Плавленные 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

Плавленные флюсы аморфны, стеклообразны (флюс-стекло) или пемзовидны (флюс-пемза). Насыпная масса стеклообразного флюса 1,5-1,8 г/см³, пемзовидного — 0,6-0,9 г/см³. Температура плавления флюса не более 1200 °С. В зависимости от преобладающего содержания легирующих элементов эти флюсы делятся на высококремнистые ($\text{SiO}_2 > 30 \%$), низкокремнистые и марганцовистые ($\text{MnO} > 12 \%$). В ремонтном производстве нашли применение

марганцовистые и высококремнистые флюсы.

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. Измельчённую 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 Al_2O_3 и MgO рекомендовано применять для наплавки чугуновой лентой или чугунных деталей.

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

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

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

Керамические флюсы открыли новые возможности применения автоматической дуговой сварки. В отличие от плавленных 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 (%): 6-7 $CaCO_3$; 26-28 CaF_2 ; 26-30 MgO ; 17-18 Al_2O_3 ; 7-11 SiO_2 ; 2-2,5 N_2O и K_2O ; 5,2-6,5 Cr ; 2-2,5 Mn ; 0,12-0,20 C ; 0,2-0,3 Ti ; 19-2,0 Al ; 0,2-0,3 Si ; 3,0-4,0 Fe . Твердость наплавленной поверхности НРС 35-45 при наплавке проволокой Св-08А. Флюсы-смеси приготавливают преимущественно из плавленных 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 удастся легиро-

вать 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 НРС 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.

Устройство и назначение оборудования

Установка для наплавки деталей подслоем флюса представлена на рис. 2.2.

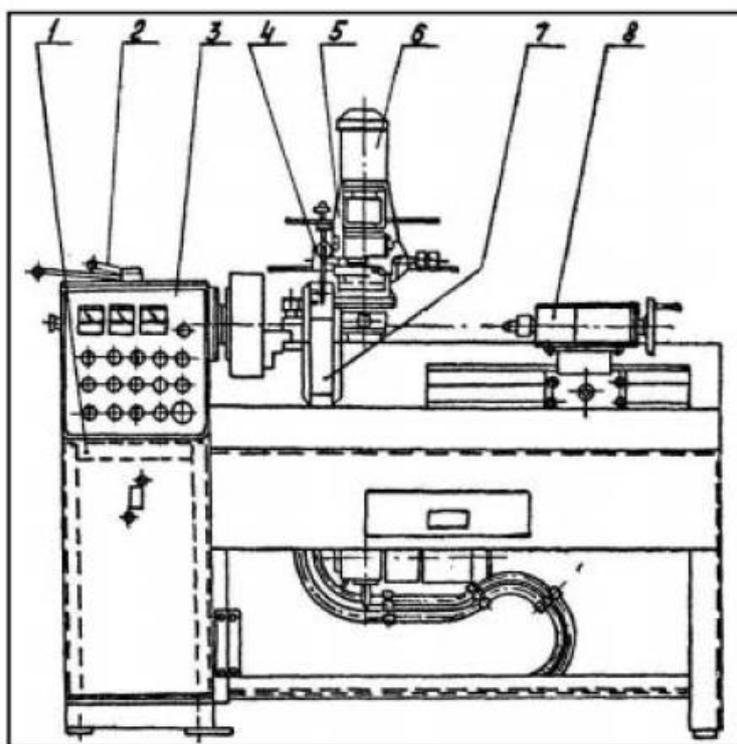


Рис. 2.2. Общий вид установки:

1 – станина; 2 – вращатель; 3 – пульт; 4 – мундштук; 5 – каретка; 6 – механизм подачи; 7 – газоотсос; 8 – пиноль

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, соединённых 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.

Пульт управления (рис. 2.3) выполнен в виде панели и установлен на станине станка.

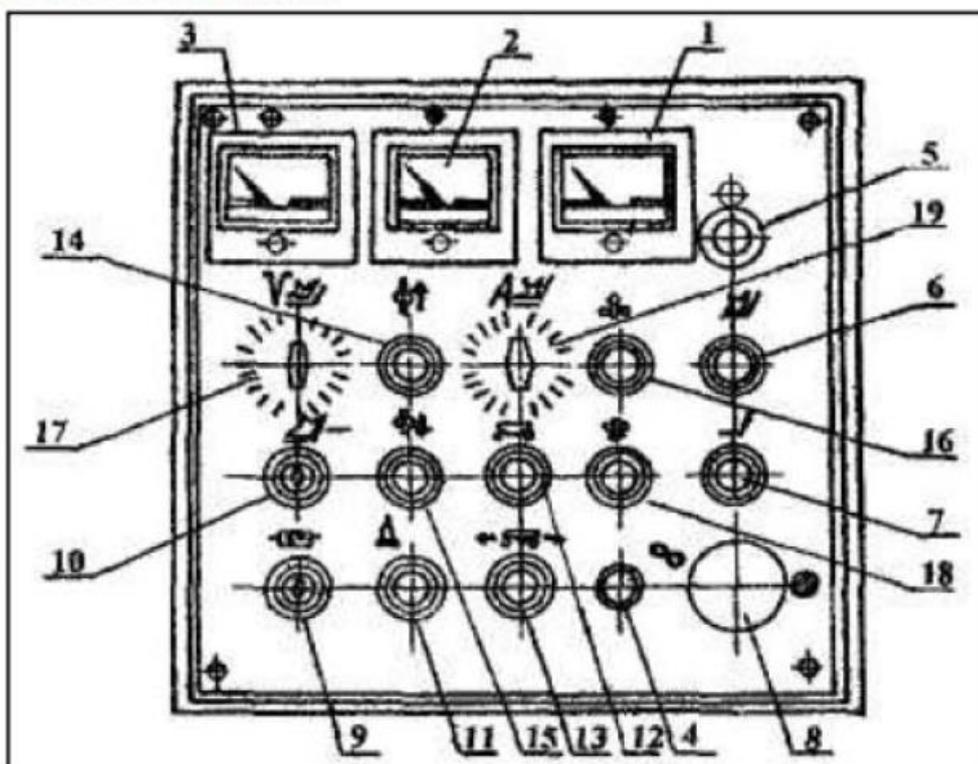


Рис. 2.3. Пульт управления:

1 – амперметр РА; 2 – вольтметр PV1; 3 – вольтметр, указатель оборотов шпинделя PV2; 4 – сигнальная лампа «напряжение подано» Н1; 5 – сигнальная лампа «готово к сварке» Н2; 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 «карета включена»; 13 – переключатель S8 «карета 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

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

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.

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

При выполнении наплавочных работ необходимо, чтобы частота вращения шпинделя станка плавно регулировалась в интервале 0,4-20 мин¹.

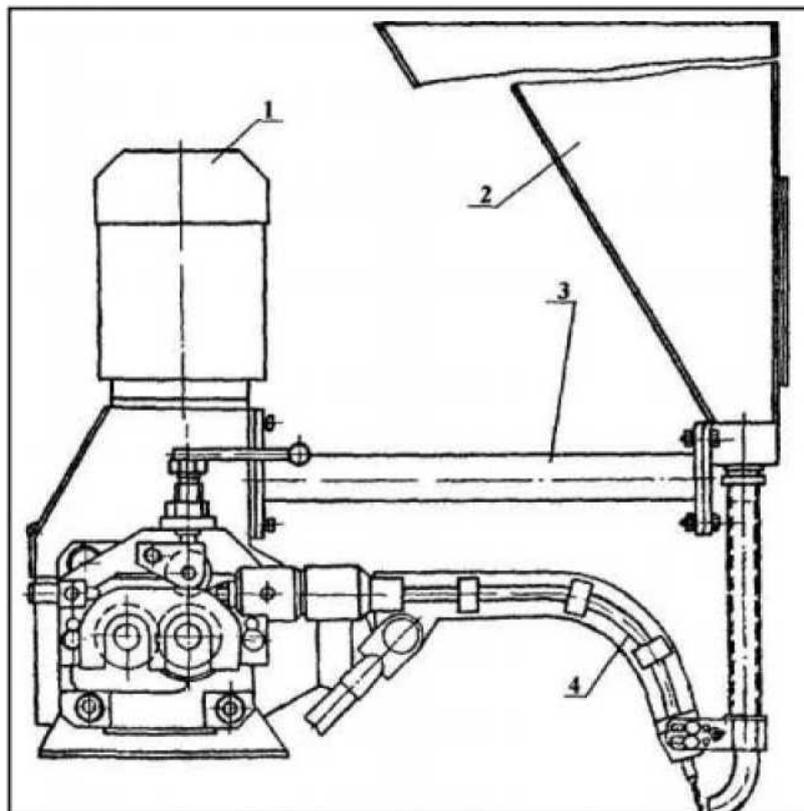


Рис. 2.4. Наплавочная головка:

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

Настройка станка на заданный режим

Величины скорости подачи электрода и скорости наплавки назначаются технологом - сварщиком в зависимости от диаметра изделия, 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:

$$t_{напл} = \frac{S}{b : a},$$

где S – шаг ходового винта.

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

По номограмме частоты вращения шпинделя на пересечении горизонтали равно 200 мм и вертикали равно 30 м/ч находим необходимую частоту вращения шпинделя - 0,795 мин⁻¹,

При отсутствии номограммы частота вращения может быть определена из формулы:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ мин}^{-1}.$$

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:

$$V_{\text{напл}} = t_{\text{х.в.}} \cdot n_{\text{х.в.}} = 0,84 \cdot n_{\text{х.в.}},$$

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

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

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

$t_{\text{х.в.}}$ - шаг нарезки ходового винта.

Сменными шестернями устанавливаем необходимую частоту вращения ходового винта.

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

Содержание отчета о работе:

1. Цель работы;
2. Применяемое оборудование;
3. Методика выполнения работы;
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какова сущность метода наплавки под слоем флюса?
2. Какие достоинства и недостатки наплавки под флюсом?
3. Какое оборудование необходимо для наплавки?
4. Какие сварочные флюсы применяются при наплавке под слоем флюса?
5. Какие режимы наплавки применяют при наплавке под слоем флюса?
6. Как влияют параметры на качество наплавки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Восстановление изношенных деталей наплавкой в среде углекислого газа

Цель работы:

1. Изучить оборудование и технологию восстановления деталей наплавкой в среде углекислого газа.
2. Изучить технологические возможности и методику назначения режимов наплавки в зависимости от технологической характеристики изношенной детали, условий ее работы и величины износа. Получить практические навыки по наплавке деталей.
3. Исследовать влияние некоторых режимов наплавки на отдельные физико-механические и технологические свойства восстанавливаемой детали.

Оборудование, инструменты, приспособления: установка для дуговой наплавки УД-209; баллон с углекислым газом с установленными на нем подогревателем и осушителем газа, а также редуктором, расходомером; материалы; восстанавливаемые детали диаметром от 60 мм; кассеты с наплавочной проволокой Нп-30ХГСА и СВ-08Г20; штангенциркуль 0-125; ключи рожковые; кусачки; плоскогубцы; напильник; защитные щитки со светофильтром № 3, резиновый коврик.

Общие положения

Наплавка в среде углекислого газа в ремонтном производстве применяется для нанесения слоя металла при восстановлении деталей механизированной сваркой тонколистовых деталей и заварки трещин на чугунных корпусных деталях.

Способ позволяет восстанавливать наружные цилиндрические поверхности стальных и чугунных деталей от 10 до 400 мм и более, внутренние цилиндрические поверхности от 40 до 200 мм и более.

Толщина слоя, полученного за один проход, зависит от режима наплавки, размеров наплавляемой поверхности и может быть в пределах 0,5-4 мм. Возможно двух-трех кратное нанесение слоя.

Толщина дефектного слоя (волнистость поверхности) составляет 0,9-1,5 мм. Твердость наплавленного слоя зависит от марки наплавляемого материала, термообработки и может быть в пределах от НВ 180 до HRC56.

Производительность способа по массе покрытия - 2,3 кг/ч, по площади покрытия - 15-20 см²/мин.

Прочность сцепления наплавленного слоя с деталью высокая и практически равна пределу прочности на разрыв металла основы.

Основным *недостатком* способа является значительное температурное влияние на деталь, которая приводит к деформации деталей большой длины (особенно малых диаметров), уменьшению размеров внутренних поверхностей полых деталей (типа стаканов) и исключает возможность наплавки полых тонкостенных деталей.

Сущность способа (рис. 3.1) заключается в том, что сварочная дуга и расплавленный металл защищается от вредного воздействия воздуха струёй углекислого газа, подаваемого под избыточным давлением из сопла, расположенного концентрично электроду.

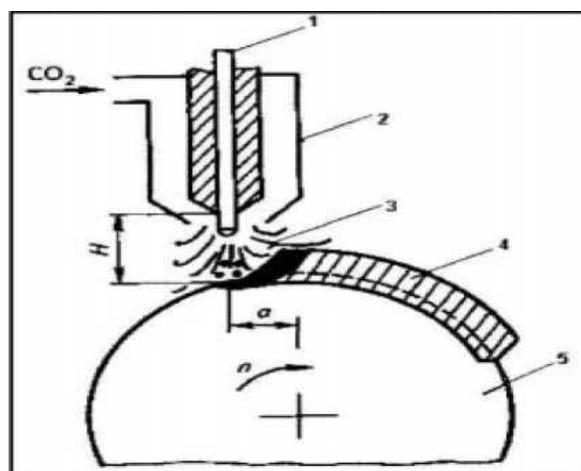


Рис. 3.1. Схема наплавки в среде углекислого газа:

1 - электродная проволока; 2 - наплавочная горелка; 3 - поток углекислого газа; 4 - наплавленный слой металла; 5 - деталь; H - вылет электрода; a – смещение электрода

Для предотвращения окисления металла в процессе наплавки атомарным кислородом, образующимся при его разложении, в материале электродной проволоки должны быть элементы- раскислители, активно соединяющиеся с кислородом (титан, кремний, марганец, углерод). Обычно используют кремне-марганцевые проволоки, например Сн-08Г2С, Св-10Г2С. Нп-3ОХГСА и другие. Наплавку в защитных газах, как правило, ведут короткой дугой, на постоянном токе обратной полярности с использованием источников питания с жесткой внешней характеристикой.

Режимы наплавки выбирают такими, чтобы обеспечить хорошее формирование наплавленного валика, максимальную производительность, минимальное проплавление основного металла и получение требуемой толщины слоя. Форма и размеры наплавляемых валиков имеют первостепенное значение для формирования покрытия в целом.

Режим наплавки: напряжение дуги; сила тока; скорость перемещения (скорость наплавки); скорость подачи электродной проволоки: вылет электрода; шаг наплавки: смещение электрода с зенита, расход газа.

Чтобы управлять формированием валиков металла, необходимо знать влияние на этот процесс каждого из перечисленных факторов.

Повышение плотности тока наплавки приводит к увеличению количества тепла, выделяемого дугой и, следовательно, к увеличению глубины проплавления основного металла и объёма расплавленной ванны. Жидкий металл из-под электрода вытесняется более интенсивно вследствие увеличения плотности дуги. Изменение глубины проплавления основного металла возрастает линейно с

увеличением сварочного тока.

Плотность тока изменяют напряжением дуги и диаметром электродной проволоки.

Напряжение дуги определяет форму наплавленного валика. Повышение напряжения увеличивает ширину и уменьшает высоту валика, Обычное напряжение дуги принимают в пределах от 16 до 30 В.

Скорость перемещения дуги влияет на распределение металла по наплаваемой поверхности. При скорости наплавки в пределах от 10 до 20 м/ч в ванне образуется большое количество металла, часть которого попадает на еще не расплавленный участок поверхности детали. Поэтому проплавление детали получается неглубоким, а ширина валика большая (рис. 3.2). Увеличение скорости до 25-40 м/ч приводит к значительному уменьшению ширины валика и увеличению глубины проплавления основного металла. При наплавке со скоростью 60 м/ч одно в ре мен по уменьшается глубина проплавления и ширина наплавленного валика. Максимальная скорость наплавки ограничивается отеканием металла из сварочной ванны.



Рис. 3.2. Влияние скорости наплавки на размеры и форму валика металла

Скорость подачи электродной проволоки приводит к общему увеличению количества наплавленного металла. При этом глубина проплавления и ширина валика несколько увеличиваются.

Вылет электродной проволоки резко влияет на сопротивление цепи. Чем больше вылет, тем выше сопротивление и тем быстрее и значительнее нагревается конец электродной проволоки. В результате возрастает коэффициент наплавления проволоки, снижается величина тока наплавки, уменьшается глубина проплавления основного металла. Перегрев электродной проволоки на участке вылета приводит к ее изгибу и наплавке извилистых валиков. Вылет электродной проволоки зависит от ее диаметра и колеблется от 10 до 50 мм.

Шаг наплавки влияет на ровность поверхности и долю основного металла в покрытии. Слишком большой шаг наплавки приводит к большим неровностям, а малый шаг - к дефектам в виде непроваров. Для получения качественной поверхности шаг наплавки выбирают от 0,4 до 0,75 ширины наплавленного валика.

Смещение электрода с зенита влияет на формирование металла покрытия. Форма сечения валика зависит от того, как уравниваются давление дуги и гидростатическое давление жидкой ванны.

Если электрод смещен навстречу вращения детали, наплавленный уча-

сток поверхности наклонен в ту же сторону, куда перемещается дуга, то уровень жидкого металла в кратере повышается. Расплавленный металл как бы вытесняет дугу. Глубина проплавления уменьшается, ширина наплавленного валика увеличивается.

Смещение электродов в сторону вращения приводит к понижению уровня жидкого металла в кратере. Глубина проплавления растёт и формируется узкий валик. Возможно отекание металла с детали.

Величина смещения электрода с зенита должна быть примерно равна длине сварочной ванны и составляет от 0,06 до 0,1 части от диаметра детали.

Расход углекислого газа зависит от диаметра наплавляемой поверхности, величины сварочного тока и регулируется в пределах 6-8 л/мин. С увеличением скорости наплавки и вылета электрода также следует увеличивать расход углекислого газа.

В процессе наплавки как в наплавленном металле, так и в околошовной зоне могут возникать дефекты, которые снижают эксплуатационные свойства наплавленного металла и могут вызвать аварийный выход детали из строя.

Дефекты различают по месту расположения (наружные и внутренние) и причинам возникновения.

По причинам их делят на две группы. К первой группе относят дефекты, образующиеся в связи с особенностями металлургических и тепловых процессов наплавки: трещины, поры, шлаковые включения. Ко второй группе относят дефекты, возникающие из-за нарушений режима наплавки, неисправности оборудования, низкой квалификации сварщиков.

Наиболее распространённым дефектом при наплавке являются трещины, которые подразделяются на холодные и горячие, и поры.

Образование горячих трещин в наплавленном металле зависит от величины темпа роста растягивающих напряжений, действующих в процессе его кристаллизации и возникающих вследствие несвободной усадки наплавленного металла.

Мерой, снижающей склонность металла к образованию горячих трещин, может быть предварительный и сопутствующий подогревы изделия, уменьшающие величину и скорость нарастания растягивающих напряжений.

Холодные трещины образуются в наплавленном металле при невысокой температуре (200°), Характерным для появления холодных трещин является их замедленное развитие в течение нескольких часов и даже суток. Затем при достижении определённой величины трещины развиваются мгновенно, взрывоподобно, с характерным звуковым эффектом. Холодные трещины возникают как по границам зёрен, так и по телу зерна.

Образованию холодных трещин способствует повышенное содержание углерода, водорода и некоторых других элементов в наплавленном металле. Источником образования водорода служат ржавчина и влага, содержащиеся в защитном газе.

Пути предупреждения образования холодных трещин: выбор наиболее рационального легирования наплавленного металла; предварительный и сопут-

ствующий подогревы изделия при наплавке; последующий высокий отпуск и замедленное охлаждение.

Поры в наплавленном металле представляют собой округлые пустоты, расположенные отдельными группами или цепочками внутри металла и на его поверхности. Это пузырьки водорода, азота, углекислого газа или пара, не успевшие выделиться до кристаллизации наплавленного металла, так как при кристаллизации происходит скачкообразное снижение растворимости водорода (в 1.7 раза), азота (в 4 раза) и других.

Для предупреждения возникновения пор в наплавленном металле поверхность детали перед наплавкой очищают от ржавчины и других загрязнений, применяют обезвоженные защитные газы и нагрев детали. При решении технологических вопросов учитывают материал наплаваемого изделия, его массу, форму, условия работы, величину и характер износа поверхности, твердость и шероховатость поверхности.

В общем случае технология наплавки деталей в углекислом газе включает подготовку детали и проволоки к наплавке, непосредственно наплавку, термообработку детали и окончательную механическую обработку.

Подготовка детали к наплавке включает в себя удаление загрязнений и, в случае большого одностороннего износа поверхности, предварительную механическую обработку – точение или шлифование.

При подготовке проволоки ее перематывают на специальных стендах из бухт в кассеты, одновременно с этим удаляя с поверхности ржавчину и смазочный материал.

Если требуется твердость более 30 HRC, то после наплавки обычно выполняют черновую механическую обработку, закалку наплавленной поверхности и чистовое шлифование.

Высокую твердость наплавленного слоя можно получить без термообработки, используя порошковую проволоку.

Содержание отчёта о работе:

1. Цель работы;
2. Применяемое оборудование;
3. Методика выполнения работы;
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какова сущность способа наплавки в среде углекислого газа?
2. Для чего необходим углекислый газ при наплавке?
3. Какой минимальный диаметр детали возможно наплавить данным способом?
4. Какова толщина получаемого слоя за один проход?
5. Для чего необходимо смещение (зенит) электрода?
6. Как влияет напряжение и сипа тока на образование дуги?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Электроискровая обработка поверхностей деталей машин и инструментов

Цель работы:

1. Ознакомиться с методом электроискровой обработки*
2. Исследовать кинетику образования покрытий на поверхностях деталей машин и инструментов.

Оборудование, инструменты, приспособления: токарно-винторезный станок; установка для электроискровой обработки БИГ-3; весы ВЛР-200 с комплектом грузов; комплект токопроводящих электродов; образцы для наплавки: пластины размером 40x30x20 мм, кольца толщиной 0,25 мм и высотой 10 мм; оправка для закрепления образцов (колец); тиски слесарные; микрометр; секундомер; калькулятор, плакаты.

Общие положения

Метод электроискровой обработки (ЭИО) разработан в 40-е годы советскими учеными Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко.

Процесс ЭИО металлических поверхностей основан на использовании действия импульсного электрического разряда, проходящего между электродами в газовой среде. Сущность его состоит в том, что при искровом разряде в газовой среде происходит преимущественное разрушение (эрозия) материала электрода - анода и перенос продуктов эрозии на поверхность детали - катода. При этом на поверхности детали образуется новый слой, которому в зависимости от параметров искрового разряда, состава электродного материала и материала поверхности детали, состава газовой среды, режимов вибрации электровибратора (ручного или механизированного) можно придать требуемые свойства - повышенную микротвердость, жаростойкость, коррозионную стойкость, износостойкость и т. д.

ЭИО является ресурсосберегающей и экологически чистой технологией, в связи с чем она получила широкое распространение в разных странах.

Научной базой электроискровой обработки материалов в газовой среде являются закономерности кинетики разрушения катода и анода и перенос продуктов эрозии электрода на поверхность детали в зависимости от длительности обработки и ряда электроэрозионной стойкости материалов.

Установлено, что при постоянной частоте следования импульсов удельная продолжительность электроискровой обработки прямо пропорциональна количеству импульсов, приходящихся на эту площадь. На рисунке 4.1 приведена зависимость изменения массы электродов от времени обработки единицы поверхности.

Как видно, в течение всего отрезка времени обработки электрод, равномерно разрушаясь, «выбрасывает» равные порции материала, часть из которого оседает на поверхности. Через некоторое время поверхность оказывается не в состоянии принимать разрушенный материал электрода, более того начинает сама разрушаться. В первый период на поверхности откладывается наибольшее

количество материала (отрезок а-б), затем количество материала, оседающего на поверхности, сильно уменьшается (отрезок б-в), сравнивается с количеством материала, выбрасываемого с поверхности (в - точка максимума па кривой), и начинается обратный процесс - удаление только что нанесённого слоя (отрезок в-г).

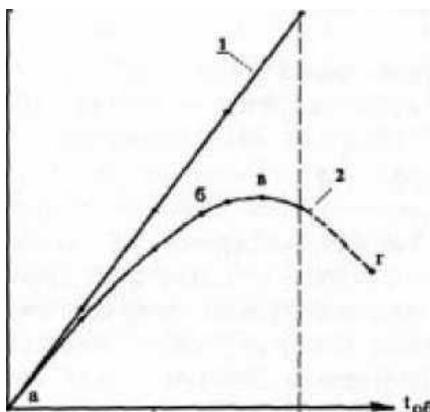


Рис. 4.1. Зависимости изменения массы электродов анода (1) и катода (2) от времени обработки

Удельная продолжительность обработки, при которой наступает максимум толщины покрытия, зависит от энергии единичного импульса, химического состава и физических свойств обоих электродов, состава окружающей среды и ее давления.

Максимум толщины покрытия наступает раньше при электрических импульсах с большой энергией и несколько позже при импульсах с малой энергией.

При экспериментальных исследованиях коэффициент переноса разрушенную материала электрода определяется как отношение привеса образца катода к весу унесенного с поверхности электрода анода.

Коэффициент переноса материала электрода на деталь характеризует эффективность использования электрода, который оценивается изменением массы образца за время обработки.

Для осуществления любой технологии главную и решающую роль играет техническое оснащение, при помощи которого выполняются технологические операции. Техническое оснащение для электроискровой обработки состоит из генератора импульсов тока, что является основным оборудованием для осуществления этого процесса и коммутирующего устройства анода с катодом.

На базе тиристорно-транзисторного генератора «Элитрон-22Б» в лаборатории № 11 ГНУ ГОСНИТИ разработана электроискровая установка БИГ-3. В установке применены технические решения по авторским свидетельствам СССР № 703282, 865578, 1042265 и патенту РФ № 2119552.

Особенность электроискровой установки БИГ-3 заключается в том, что она снабжена устройством, которое за счет дозированной энергии импульсов за одно касание электродом поверхности детали позволяет получать покрытия с постоянными и большими значениями толщины и сплошности.

Назначение и комплектность электроискровой установки БИГ-3

Электроискровая установка БИГ-3 предназначена для обработки в ручном и механизированном режиме рабочих поверхностей деталей машин и механизмов, режущего инструмента и штампованной оснастки с целью восстановления их размеров, упрочнения и легирования.

В комплект электроискровой установки входят: тиристорно-транзисторный (ТТ) генератор импульсов тока «Элитрон-22Б», блок высокочастотной вибрации АГ-2, устройство ВИ-1 для обработки наружных поверхностей тел вращения в механизированном режиме и вибровозбудитель для обработки поверхностей в ручном режиме.

Релаксационный, разобъёмный генератор «Элитрон-22Б» предназначен для формирования независимых импульсов рабочего тока (рис. 4.2).

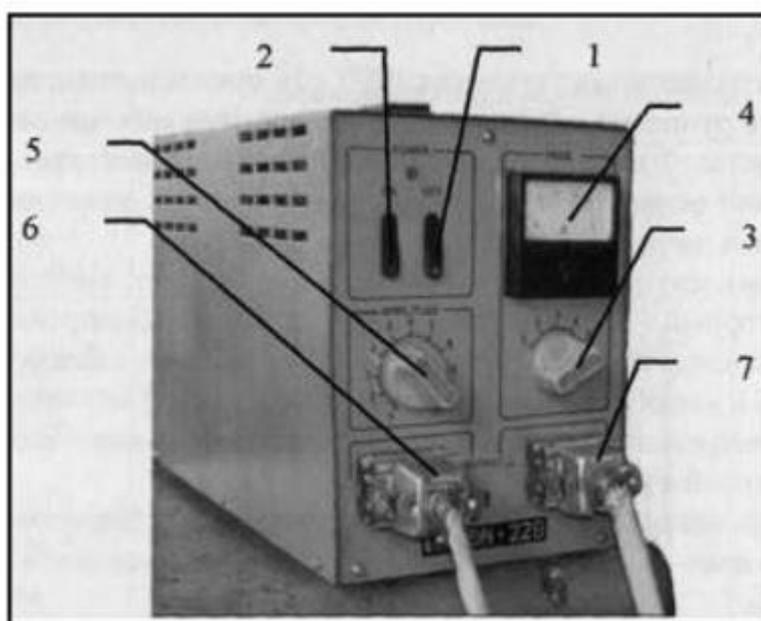


Рис. 4.2. Генератор «Элитрон-22Б»:

- 1 - включатель генератора; 2 - выключатель генератора;
- 3 - переключатель энергетических режимов работы генератора; 4 - амперметр;
- 5 - регулятор амплитуды вибрации ручного вибровозбудителя;
- 6 - розетка для подключения генератора к обрабатываемому изделию;
- 7 - розетка для подключения генератора к вибровозбудителю или обрабатывающей головки

Питание генератора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц, Потребляемая генератором мощность при номинальном напряжении сети не более 250 Вт.

Генератор выполнен в прямоугольном металлическом корпусе. На лицевой панели генератора расположены переключатели включения «ON» 1 и выключения «OFF» 2; переключатель энергетических режимов работы генератора «MODE» 3 и амперметр 4 фиксирующий значение зарядного тока; регулятор амплитуды вибрации ручного вибровозбудителя «AMPLITUDE» 5 (использует-

ся при отключенном блоке высокочастотной вибрации АГ-2); две розетки «OUTPUT» 6 и 7, отмеченные знаками «+» и «-». Розетка 6 «-» предназначена для подключения генератора к обрабатываемому изделию, розетка 7 «+» - для подключения к вибровозбудителю или обрабатывающей головке.

На заднюю панель генератора выведены сетевой шнур с вилкой для подключения генератора к источнику электропитания и плавкая вставка. К крышке генератора крепится ручка для переноски.

Изменение режима работы генератора импульсного тока осуществляется дискретно, количество режимов - пять.

Блок высокочастотной вибрации АГ-2 предназначен для питания обмотки вибровозбудителя и повышения частоты вибрации электрода, что приводит к увеличению частоты генерации импульсов рабочего тока.

Питание блока высокочастотной вибрации АГ-2 осуществляется от электрической сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Потребляемая мощность не более 200 Вт.

Конструкция блока высокочастотной вибрации АГ-2 выполнена в виде прибора прямоугольной формы, собранной из листовой стали. На лицевой панели блока (рис. 4.3) расположен переключатель 1 с позициями «Э22-Б» и «БВВ». При переключении тумблера в положение «БВВ» осуществляется включение работы блока высокочастотной вибрации и загорается светодиод 2 с надписью «СЕТЬ». В положении «Э22-Б» установка работает в режиме генератора, и частота вибрации электрода составляет 100 Гц.

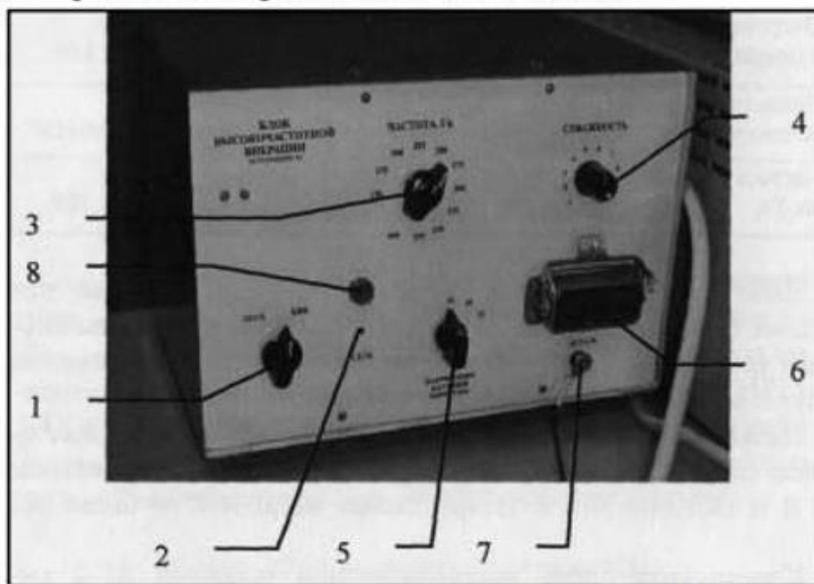


Рис. 4.3. Блок высокочастотной вибрации АГ-2:

1 - переключатель с позициями «Э22-Б» и «БВВ»; 2- светодиод; 3 - ручка регулировки частоты прохождения униполярных импульсов «ЧАСТОТА, Гц»; 4 - ручка регулировки «СКВАЖНОСТЬ»; 5 - ручка дискретного переключения напряжения на катушке вибратора «НАПРЯЖЕНИЕ НА КАТУШКЕ ВИБРАТОРА»; 6- розетка для подключения вилки кабельного отвода к вибровозбудителю; 7- клемма, отвода провода к детали «ДЕТАЛЬ»; 8 - розетка с плавким предохранителем

К элементам управления относится ручка регулировки частоты прохождения униполярных импульсов «ЧАСТОТА, Гц» 3.

Изменение частоты вибрации электрода обеспечивается в пределах 150-400 Гц с шагом 25 Гц. Ручка регулировки длительности повторения импульсов «СКВАЖНОСТЬ» 4 и ручка дискретного переключения напряжения на катушке вибратора «НАПРЯЖЕНИЕ НА КАТУШКЕ ВИБРАТОРА» 5.

На лицевой панели расположена розетка для подключения вилки кабельного отвода б к вибровозбудителю, клемма отвода провода к детали «ДЕТАЛЬ» 7 и розетка с плавким предохранителем 8.

Обрабатывающее устройство ВИ-1 предназначено для электроискровой обработки наружных поверхностей тел вращения в механизированном режиме.

Обрабатывающее устройство ВИ-1 (рис. 4.4) состоит из обрабатывающей головки i, приспособления ii для ее крепления к станку и токосъёмника iii.

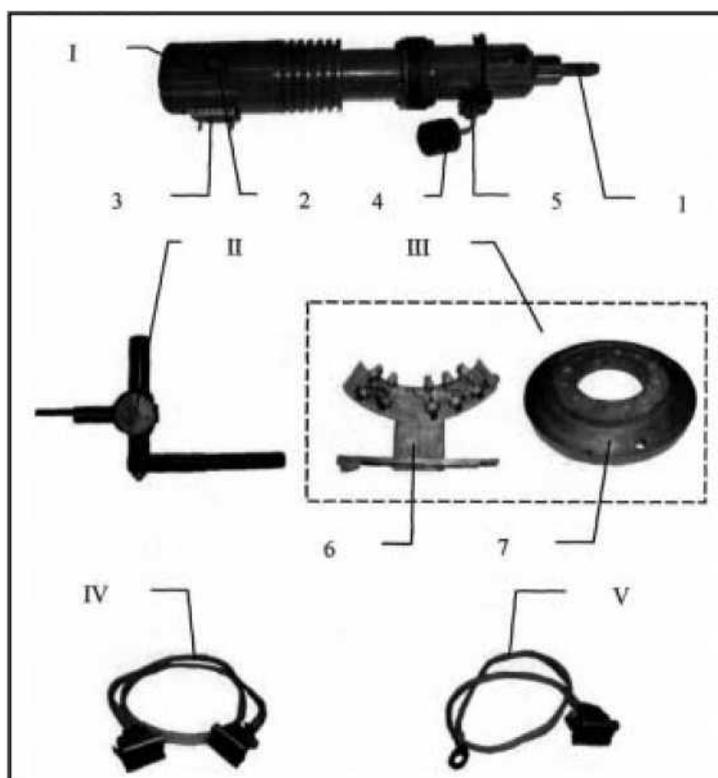


Рис. 4.4. Обрабатывающее устройство ВИ-1:

i - обрабатывающая головка; ii - приспособлений для крепления обрабатывающей головки в резцедержателе станка; iii - токосъёмник; IV - кабель соединения генератора и обрабатывающей головки; V - кабель соединения генератора и щеточного узла; 1 - цанговый зажим; 2 - переключатель; 3 - розетка для подключения кабеля к обрабатывающей головке; 4 - груз; 5 - рычаг; 6 - щеточный узел; 7 - контакта

Питание электродвигателя обрабатывающей головки осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Потребляемая мощность при номинальном напряжении сети не более 18 Вт

Обработка проводится вращающимся электродом, закрепленным в цанго-

вом патроне 1 обрабатывающей головки *i*. Включение электродвигателя обрабатывающей головки осуществляется переключателем 2.

Экспериментально установлено, что оптимальная частота вращения электрода составляет 2700-3000 об/мин.

Передача рабочего импульсного тока с генератора на обрабатывающую головку 1 осуществляется кабелем IV через розетку 3.

Головка *i* крепится в приспособление *ii* устанавливаемое в резцедержателе токарно-винторезного станка. Приспособление позволяет перемещать обрабатывающую головку как по высоте, так и менять угол наклона по отношению к обрабатываемой поверхности. Усилие прижима вращающегося электрода к образцу регулируется путем перемещения груза 4, расположенного на рычаге 5.

Передача рабочего тока на образец осуществляется кабелем V через щеточный узел 6 и контакту 7 токосъемника *iii*.

Вибровозбудитель предназначен для периодического коммутирования электрода с образцом при обработке поверхностей в ручном режиме.

Вибровозбудитель (рис. 4.5) состоит из корпуса 1, сердечника 2, катушки электромагнита 3, якоря 4 и электрододержателя 5.

Электрическая схема вибратора модернизирована разработчиком «АГ-2». В вилку разъема вибратора дополнительно подключён кабельный отвод с вилкой для соединения с блоком «АГ-2».

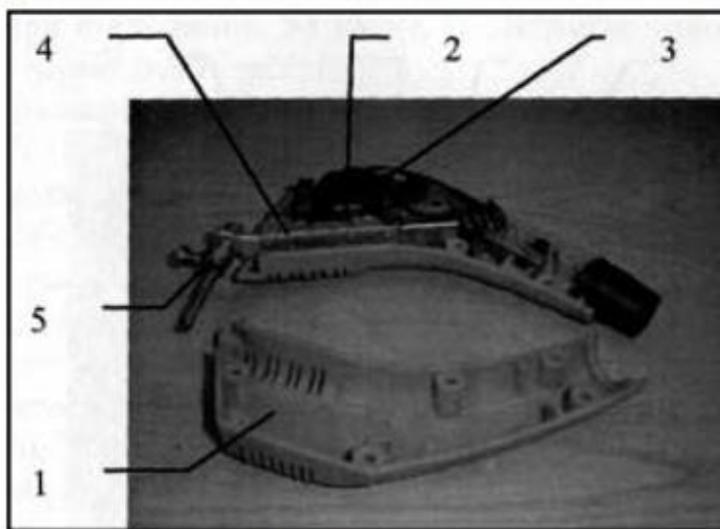


Рис. 4.5. Вибровозбудитель;

1 - корпус; 2 - сердечник; 3 - катушка; 4 - якорь; 5 - электрододержатель

Подготовка электроискровой установки БИГ-3 к работе в ручном режиме.

Электроискровая установка БИГ-3 для обработки в ручном режиме комплектуется генератором «Элитрон-22Б» I, блоком высокочастотной вибрации II и вибровозбудителем III (рис. 4.6).

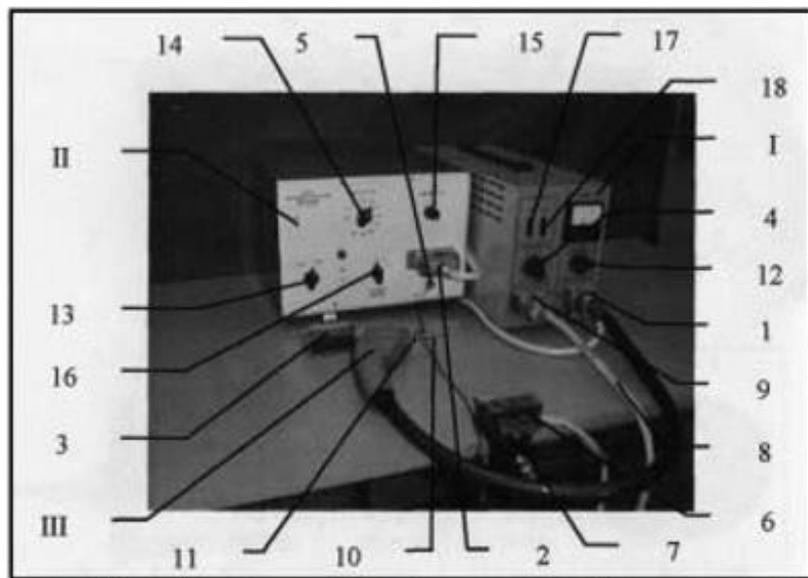


Рис. 4.6. Компоновка электроискровой установки БИГ-3 для работы в ручном режиме:

I - генератор «Элитрон-22Б»; II - блок высокочастотной вибрации «АГ-2»; III - вибровозбудитель; 1 - вилка подключения вибровозбудителя к генератору «Элитрон-22Б»; 2 - вилка подключения вибровозбудителя к блоку высокочастотной вибрации «АГ-2»; 3 - заглушка вилки подключения вибровозбудителя к блоку высокочастотной вибрации «АГ-2»; 4 - регулятор амплитуды вибрации ручного вибровозбудителя «AMPLITUDE»; 5 - клемма отвода провода к детали «ДЕТАЛЬ»; 6 - обрабатываемый образец; 7 - устройство для зажима образцов (тиски); 8 - кабельный отвод для соединения генератора с обрабатываемым образцом или устройством для его зажима; 9 - розетка для соединения генератора «Элитрон-22Б» с обрабатываемым образцом или устройством для его зажима; 10 - электрод; 11 - электрододержатель; 12 - переключатель энергетических режимов работы генератора «MODE»; 13 - переключатель с позициями «Э22-Б» и «БВВ»; 14 – ручка регулировки частоты прохождения униполярных импульсов «ЧАСТОТА, Гц»; 15 – ручка регулировки длительности повторения импульсов «СКВАЖНОСТЬ»; 16 – ручка дискретного переключения напряжения на катушке вибратора «НАПРЯЖЕНИЕ НА КАТУШКЕ ВИБРАТОРА»; 17- включатель генератора «ON»; 18 - выключатель генератора «OFF»

Для работы в ручном режиме расположить установку на рабочем пространстве стола размером не менее 800×1000 мм. оборудованном приспособлением для крепления образца (тисками).

Блок высокочастотной вибрации «АГ-2» II заземлить через болт, расположенный на задней панели корпуса.

Вибровозбудитель III подключить к генератору «Элитрон-22Б» I через вилку 1 и к блоку высокочастотной вибрации через вилку 2, предварительно сняв с нее заглушку 3. При отключении вилки кабельного отвода вибратора 2 из розетки блока «АГ-2» II обработка проводится в режиме генератора с частотой

той вибрации электрода 100 Гц. Амплитуда вибрации вибровозбудителя в этом случае регулируется ручкой «AMPLITUDE» 4 до исключения залипания электрода к поверхности образца.

При отключении на вилку 2 кабельного отвода вибратора необходимо надеть заглушку 3.

Проводом, сечением не менее 0.5 мм. соединить клемму «ДЕТАЛЬ» 5 блока «АГ-2» II с обрабатываемым образцом 6 или с устройством для его зажима 7.

Кабельным отводом 8 через розетку 9 соединить генератор «Элитрон - 22Б» I с обрабатываемым образцом 6 или устройством для его зажима 7.

Установить электрод 10 в электрододержатель II вибровозбудителя III и закрепить.

Подключить генератор «Элитрон-22Б» I и блок высокочастотной вибрации «АГ-2» II к сети переменного тока.

Согласно технологическим рекомендациям настроить установку на режим обработки. Переключателем 12 на генераторе «Элитрон-22Б» I установить требуемый энергетический режим.

Переключателями 13,14 и 15 установить требуемые параметры работы блока высокочастотной вибрации «АГ-2» II.

Ручкой дискретного переключения напряжения на катушке вибратора 16 блока «АГ-2» II установить напряжение импульсов 24 В, подаваемое на катушку вибратора.

При залипании электрода к поверхности образца необходимо увеличить напряжение импульсов до значений 28 В или 32 В. При этом возможен перегрев катушки вибратора, что требует подачи воздуха во внутрь вибратора или увеличения перерывов при обработке.

Включить генератор «Элитрон-22Б» нажав включатель 17.

Для нанесения покрытия подвести электрод 10 к поверхности образца 6 и произвести обработку за указанный период времени.

По окончании обработки выключить генератор выключателем 18 «OFF», перевести переключатель 13 блока высокочастотной вибрации АГ-2 в положение «Э-22Б». Произвести разряд конденсаторов прикосновением электрода вибратора к образцу.

Отключить генератор «Элитрон-22Б» и блок высокочастотной вибрации «АГ-2» от сети.

Электродные материалы, применяемые для электроискровой обработки.

Эффективность ЭИО во многом обусловлена выбором материала, из которого формируется покрытие. В качестве материала электрода может применяться большинство токопроводящих материалов: чистые металлы и их сплавы: карбиды, нитриды, бориды и другие соединения тугоплавких переходных металлов; твердые сплавы, композиционные материалы и др.

Применение того или иного материала электрода позволяет придать поверхностному слою обрабатываемого изделия эксплуатационные свойства, близкие к свойствам электродного материала.

К первой группе материалов относят карбидные, нитридные, боридные, керметные соединения тугоплавких металлов, которые могут иметь небольшое количество металлической связки. Сюда относится широкий круг металлокерамических твердых сплавов: вольфрамокобальтовых (типа ВК), титановольфрамокобальтовых (типа ТК), титанотанталовольфрамокобальтовых (типа ТТК). К данной группе относится и ряд марок без вольфрамовых твердых сплавов типа ТН-20, КНТ-16, И-3, которые по своим характеристикам близки сплавам группы ТК.

Материалы первой группы образуют хороший слой покрытия и вследствие их небольшой химической активности наименее чувствительны к составу окружающей среды и материалу изделия. Такие покрытия обладают минимальной склонностью к схватыванию при трении (особенно если применяемые материалы не имеют металлической связки). Однако их сравнительно высокий коэффициент трения от 0,3 до 0,7 не всегда позволяет применять эти покрытия для деталей трения без дополнительной обработки, которая снижает коэффициент трения.

Ко второй группе электродных материалов относят мягкие металлы и их сплавы (алюминий, медь, серебро, золото, свинец, олово). Преимущество нанесения покрытий материалами второй группы методом ЭИО перед другими способами заключается в высокой прочности сцепления покрытия с основой (до 60 МПа) и возможности нанесения этих материалов в заключительной стадии обработки изделия без какого-либо воздействия на остальные части его поверхности.

В результате нанесения названных материалов на обрабатываемую поверхность образуется мягкий антифрикционный слой, который, снижая коэффициент трения пар скольжения, увеличивает надежность работы соединения. Кроме того, покрытия из этих материалов обладают высокой электропроводностью, что имеет важное значение для восстановления контактов деталей электроаппаратуры, а легирование алюминием увеличивает твердость, антикоррозионную стойкость и жаростойкость поверхностей изделия.

К третьей группе электродных материалов (токопроводящих материалов) относят все остальные металлы (вольфрам, титан, молибден, хром, никель) и сплавы на их основе, включая ферросплавы, широкую номенклатуру сталей, чугуны, а также кремний и графиты. Здесь наблюдается большое различие в способности металлов осаждаться на изделия при электроискровых разрядах, обусловливаемое как свойствами самих этих материалов, так и их чувствительностью к химическому составу материала обрабатываемого изделия. Значительно различаются и эксплуатационные характеристики формируемых покрытий, например:

— вольфрам - хорошо наносится на токопроводящий материал в широком диапазоне электрических режимов, но покрытие получается неравномерным по толщине и электрод обычно «залипает», т. е. как бы приваривается к изделию при каждом разряде. Покрытие обладает высокими износо- и теплостойкостью;

— титан - процесс ЭИО протекает устойчиво. Образуется ровный, но от-

носителем тонкий слой износостойкого и коррозионностойкого покрытия;

— молибден - образует равномерное покрытие на слаболегированных и хромистых сталях. На высоколегированных никелевых сплавах образует также равномерный, но тонкий, в основном диффузионный слой. Наилучшие покрытия этим металлом получаются при использовании режимов с малой или средней энергией импульсов. Покрытия обладают высокими износостойкостью и коррозионной стойкостью;

— хром - при обработке различных по составу материалов изделий образует хорошее по количеству перенесенного металла, сплошное и равномерное покрытие, обладающее высокими износостойкостью и жаростойкостью;

— ферросплавы - при обработке ЭИО металлов и сплавов на основе железа электроды из ферросплавов (например, ферротитан) позволяют наносить покрытия со свойствами, близкими свойствам покрытий из монометалла, являющегося исходным по отношению к ферросплаву (т. е. в данном случае титан); при этом толщина покрытия ферросплавом, как правило, больше толщины покрытия из монометалла;

— стали - вследствие большого многообразия сталей по химическому составу они широко применяются в качестве электродов преимущественно при восстановлении размеров многих деталей машин и приборов, обеспечивая получение необходимых эксплуатационных характеристик (например, сталь 3 как подслоя для восстановления изношенных размеров и упрочнения деталей из чугуна);

— чугуны - процесс ЭИО обычно протекает стабильно во всем диапазоне электрических режимов. Электроды из чугуна могут служить заменой электродам из углеродистых сталей;

— графиты - обработка рабочих поверхностей деталей графитовым электродом на воздухе аналогична по эффекту процессам цементации и цианирования. Формирование упрочненного слоя протекает стабильно. Характерной чертой является сохранение исходных размеров и шероховатости рабочей поверхности детали, которые при ЭИО другими электродными материалами обычно изменяются.

Экспериментально доказано, что форма электрода влияет на стабильность процесса ЭИО. Наиболее оптимальным и универсальным является стержневой электрод круглого сечения. Рекомендуется также применять и электроды прямоугольной формы. При заданном электрическом режиме уменьшение площади поперечного сечения электрода позволяет увеличивать плотность технологического тока.

Назначение электроискровых покрытий и условия эксплуатации обработанных деталей в основном и определяют выбор наносимого материала. При прочих равных условиях предпочтение отдается тому электродному материалу, эрозия и коэффициент переноса которого при заданной энергии разряда максимальны.

Содержание отчета о работе:

1. Цель работы;
2. Применяемое оборудование;
3. Методика выполнения работы;
4. Выводы

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность процесса электроискровой обработки поверхностей деталей машин и инструментов?
2. Назовите особенности метода электроискровой обработки поверхности.
3. В чем заключается закономерность кинетики переноса продуктов эрозии электрода – анода на поверхность образца – катода?
4. Что характеризует и как определяется коэффициент переноса материала электрода на деталь?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнив лабораторные работы, студент ознакомился с методами технологического воздействия при упрочнении деталей машин. Усвоил теоретический материал. Получил навыки в конструировании и расчетах инструментов с учетом физических особенностей процесса обработки и использованием государственных стандартов, учебной и справочной литературы.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями рабочей программы и предназначены для практического использования студентами при выполнении лабораторных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амосов В. М., Карелин Б. А., Кубышкин В. В. Электродные материалы на основе тугоплавких металлов. М.: Metallургия, 1976. — 223 с.
2. Антошин Е. В. Газотермическое напыление покрытий. М.: Машиностроение, 1974. — 97 с.
3. Ардентов В. В., Федоренко Г. Н. О влиянии конструкции проточной части горелок на характеристики газовой защиты//Сварочное производство. 1983. — № 10. — С. 14-15.
4. Артемьев Ю. Н. Качество ремонта и надежность машин в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1981. — 239 с.
5. Астахин В. И. Плазматрон для сварки и наплавки алюминия//Сварочное производство. 1978. — № 2. — С. 53-54.
6. Ачкасов А. К. Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1984. 271 с.
7. Багрянский К. В., Добротина З. А., Хренов К. К. Теория сварочных процессов. М.: Высшая школа, 1976. — 424 с.
8. Байкалова В. Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин, М.: Колос, 1979. — 81 с.
9. Бартенев С. С, Федько Ю. П., Григорьев А. И. Детонационные покрытия в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1982. — 215 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Лабораторная работа № 1.....	4
Лабораторная работа № 2.....	11
Лабораторная работа № 3.....	22
Лабораторная работа № 4.....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	39

МЕТОДЫ ФИНИШНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
(профиль «Обеспечение качественно-точных характеристик
при изготовлении изделий в автоматизированном
машиностроительном производстве»)
всех форм обучения

Составители

Жачкин Сергей Юрьевич
Краснова Марина Николаевна

В авторской редакции

Подписано к изданию 15.12.2020.
Объем данных 1,6 Мб.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14