

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра материаловедения и технологии материалов

Х. Л. НГУЕН, Е. А. ШЕИН

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ
УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ
ЭЛЕКТРОИСКРОВЫМ МЕТОДОМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 620.197.5 (076.8)

ББК 34.661я73

НЗ7

Рецензент

доцент, кандидат технических наук А. С. Килов

Нгуен, Х. Л.

Н 37 **Изучение технологии нанесения упрочняющих покрытий электроискровым методом / Х. Л. Нгуен, Е. А. Шеин. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2008. – 16 с.**

Нанесение упрочняющих покрытий методом электроискрового легирования является одним из простых методов повышения износостойкости рабочих органов машин. Ручные установки для нанесения покрытий электроискровым методом просты в эксплуатации и могут применяться при формировании защитного слоя на поверхности, на которой он трудно наносится с помощью механических устройств.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин» специальности 150205.65 Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов.

ББК 34.661я73

©Нгуен Х. Л.,

Шеин Е. А., 2009

©ГОУ ОГУ, 2009

1 Цель работы

1.1 Изучить технологию электроискрового легирования при нанесении защитных покрытий на поверхности деталей машин.

1.2 Ознакомиться с устройством и принципом работы установки для электроискрового легирования SE-5.01.

1.3 Провести на образцах электроискровое легирование.

2 Основные сведения

Электроискровой метод обработки поверхностей деталей в машиностроении широко применяется и обладает рядом преимуществ, заключающееся в простом оборудовании и высокой производительности. Единственным ограничением для этого метода является то, что обрабатываемый материал должен быть электропроводным.

Метод электроискрового легирования металлов был разработан Лазаренко Б.Р. и Лазаренко Н.И. еще в середине XX века, основной его принцип остался неизменным. Совершенствовались конструкции электрододержателя, модернизированы источники питания, появились многоэлектродные головки, используются электроды разнообразного состава, в том числе композиционные.

Сущность электроискрового легирования (ЭИЛ) состоит в переносе материала электрода на поверхность обрабатываемой детали под воздействием электрического поля при искровом разряде [1]. С помощью указанного метода получают твердое износостойкое покрытие, обладающее хорошей связью с материалом основы.

При электроискровом упрочнении происходят следующие физические процессы:

- перенос материала электрода в газообразном состоянии в разрядном промежутке;
- диффузия металла упрочняющего электрода, находящегося в газообразном состоянии, в расплав металла упрочняемой детали в месте разряда;

– образование твердых растворов и мелкодисперсных карбидов в результате быстрого затверждения жидкой фазы и точечной закалки с большими скоростями охлаждения.

На практике используют электроискровое упрочнение компактными электродами, а порошковые применяются значительно реже. Искровые разряды происходят при периодическом касании легирующим электродом упрочняемой поверхности при его вибрациях [2]. Эта схема применяется на ручных установках для локального легирования, упрочнения рабочих кромок инструментов, штампов. Установки снабжены вибраторами в виде карандаша, в электрододержателе которых закреплен легирующий электрод. Производительность этих установок находится в диапазоне от 1,7 до $5 \cdot 10^{-6}$ м²/с (от 1 до 3 см²/мин), толщина наносимого покрытия – до 50 мкм, износостойкость рабочих кромок увеличивается в 2-8 раз.

Электроискровое легирование сопровождается следующими явлениями:

1) при электрической эрозии материалов наблюдается эффект полярности – превышение эрозии одного электрода над другим;

2) величина и знак электрической эрозии металлов зависят от химического состава материала электродов, детали, окружающей среды, величины и соотношения параметров ЭИЛ.

3) количество материалов, выбрасываемое из анода в результате действия искрового электрического импульса, зависит от энергии и количества импульсов.

Количественным критерием полярности может служить относительная эрозия $\Delta\gamma$, определяемая по формуле:

$$\Delta\gamma = M_k/M_a, \quad (1)$$

где M_k , M_a – эрозия материала катода и анода соответственно.

При $\Delta\gamma < 1$ полярность положительная (относительно катода), а в случае $\Delta\gamma > 1$ – отрицательная (при ЭИЛ полярность эрозии положительна).

Знак электрической эрозии положителен при повышении массы электрода-анода и отрицателен при ее уменьшении.

Процесс электроискрового легирования протекает следующим образом.

При сближении электродов (анод – наносимый материал, катод – обрабатываемая поверхность) происходит увеличение напряженности электрического поля (анод закрепляется на вибраторе) и на некотором расстоянии между электродами напряженность становится достаточной для возникновения разряда. Пучок электронов фокусировано ударяется о поверхность анода, энергия остановленных электронов выделяется в поверхностных слоях анода и в этот момент система броском освобождает накопленную энергию. В результате от анода отделяется капля расплавленного металла и движется к катоду, опережая движущийся вслед за ней анод. Капля расплавленного металла в процессе отделения от анода нагревается до высокой температуры, закипает и взрывается. К этому моменту цепь тока прерывается и частицы взорванной капли летят широким факелом. Необходимо также учесть, что перегретые частицы металла при переносе на поверхность катода все время находится в соприкосновении с ионизированным газом, возникающим вследствие электрического разряда, поэтому их химический состав отличается от исходного состава анода.

Частицы, достигнув катода, прилипают к его поверхности и частично внедряются в нее. В этот момент система вновь накопила энергию и вслед за частицами движется электрод-анод (вибратор вновь заработал). Через раскаленные частицы, находящиеся на катоде, проходит второй импульс тока, сопровождающийся механическим ударом массы электрода-анода. Второй импульс сваривает частицы между собой и прогревает поверхность катода, на котором они лежат. В результате возникают диффузия частиц на поверхности катода и химическая реакция между этими частицами и материалом катода. Механический удар проковывает покрытие, увеличивая его однородность и плотность. Затем анод отодвигается, а на катоде остается слой металла, прочно соединенный с его поверхностью.

Таким образом, при искровом разряде происходит эрозия анода (электрода) и перенос продуктов эрозии на катод (деталь). На детали образуется слой, имеющий измененный состав и структуру, которые зависят от состава электрода и электрического режима установки.

В таблице 1 приведено краткое описание процессов, происходящих в поверхностном слое при ЭИЛ.

Таблица 1 – Процессы, происходящие на поверхностном слое при ЭИЛ

Наименование процесса	Причина возникновения и условия нанесения	Результат процесса	Объект обработки
1	2	3	4
Сверхскоростная закалка (10^4 - 10^5 °C/с)	Высокая температура разряда (5000-11000 °C), кратковременность действия (10^{-3} - 10^{-5} с), мгновенное охлаждение нагретых участков массой холодного металла	Повышение твердости и прочности поверхностного слоя, особенно при наличии в нем углерода и карбидообразующих легирующих элементов. Образование тонкого «белого слоя»	Сталь, содержащая углерод в количестве 0,6 % и выше, или легирующие элементы
Цементация основного металла и образование карбидов вносимых элементов	Соединение железа, хрома, титана и др. с углеродом, вносимым из упрочняющего электрода (графитового, карбидного и т.п.) или присутствующим в окружающей среде, и образование при этом карбидов, выделяющихся в мелкодисперсном состоянии	Повышение твердости и прочности слоя придание ему способности закаливаться	Высоко-, средне- и малоуглеродистые и некоторые легированные стали

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Переход легирующих элементов	Контактный или капельный перенос легирующих элементов из упрочняющего электрода на обрабатываемую поверхность при соприкосновении с ней и последующее диффузионное рассасывание этих элементов в слое	Повышение статической прочности, износостойкости и коррозионной стойкости, придание способности закаливаться	Сталь и сплавы любого типа

Эксплуатационные характеристики деталей из наиболее распространенных конструкционных и инструментальных сталей могут быть улучшены за счет нанесения при помощи ЭИЛ тонкого слоя покрытия на поверхность изделия. Также улучшатся антифрикционные свойства трущихся поверхностей, повышаются жаростойкость и коррозионную стойкость деталей, изменяются электропроводные свойства контактов.

Методом электроискрового легирования можно маркировать детали, инструменты и др.

Критерии выбора электродных материалов для электроэрозионного упрочнения легированием формулируются на основании всестороннего исследования взаимосвязи физико-химических свойств, электронной структуры материалов электродов с характеристиками легированного слоя и параметрами процесса ЭИЛ. Выбранный электрод должен обеспечить создание прочных материалов, одновременно обладающих пластичностью. При выборе материала электродов учитывают следующие замечания:

1) для наибольшей эффективности процесса ЭИЛ материалы катода и анода должны образовать ряд твердых растворов;

2) при легировании твердыми сплавами электрод должен иметь достаточное количество пластичной связки для обволакивания твердой фазы и переноса ее на поверхность катода в результате интеркристаллитного разрушения;

3) материал пластической связки должен смачивать тугоплавкую фазу композита и иметь близкий с ней коэффициент термического расширения;

4) легирующий металл или компоненты пластической связки анода и материал катода должны обладать хорошей смачиваемостью;

В таблице 2 приведены наиболее часто используемые в практике электроэрозионного легирования электродные материалы и назначение получаемых из них покрытий.

Таблица 2 – Рекомендуемые электродные материалы при ЭИЛ и назначение получаемых из них покрытий

Материалы легирующего электрода	Материал обрабатываемого изделия	Назначение легированного слоя
1	2	3
Графит	Сталь 08, сталь У8А, Р18, 65Г, Р6М5, Т15К6	Р.И, Ш.О
Мо, W	Стали 30, У10А, ХВГ, 45, 50ХФА	И, К
ВК6, ВК8	Стали 45, У7, 9ХС, У8, 40Х, 12Х18Н9Т, Р6М3, Р6М5, 1Х13, 65Г, Р18, Т15К6	И, С.О, Ш.О, Р.И
Назначение легированного слоя: И – повышение износостойкости; К – повышение коррозионной стойкости; Ж – повышение жаростойкости; Р.И – повышение износостойкости режущего инструмента; Ш.О – повышение износостойкости штамповой оснастки.		

3 Оборудование для электроискрового легирования

Установка SE-5.01 (рисунок 1) предназначена для нанесения методом электроискрового легирования упрочняющих, износостойких, защитных и антиадгезионных покрытий на поверхности деталей машин и механизмов. Установка SE-5.01 может применяться для решения следующих технологических задач:

– повышение износостойкости режущего и слесарного инструмента, штамповой оснастки, а также трущихся поверхностей деталей машин;

- нанесение различных материалов для улучшения адгезии;
- увеличение шероховатостей поверхности с целью повышении коэффициента трения;
- восстановление размеров изношенных поверхностей деталей различного назначения;
- маркировка деталей.

Установка обеспечивает в зависимости от режимов работы, материала электрода и обрабатываемого изделия нанесение износостойких покрытий толщиной до 200 мкм, в том числе антиадгезионных, антифрикционных, а также многослойных композиционных покрытий.



1 – силовой блок; 2 – вибратор; 3 – зажим; 4 – жидкокристаллический индикатор; 5 – кнопка пуска; 6 – кнопки изменения выходного напряжения; 7 – кнопки изменения емкости конденсаторной батареи.

Рисунок 1 – Общий вид установки электроискрового легирования SE-5.01

Установка имеет следующие технические характеристики:

Напряжение питающей сети	(220±20) В
Максимальное выходное напряжение	70 В
Частота колебаний электромагнитного вибратора	(160±10) Гц
Потребляемая мощность, не более	300 Вт

Габаритные размеры корпуса	190x220x330 мм
Масса не более	10 кг

Установка SE-5.01 состоит из силового блока, вибратора и кабеля с «крокодилом» для подключения к обрабатываемому изделию (рисунок 1).

Силовой блок установки выполнен в типовом прямоугольном металлическом корпусе. На передней панели расположены:

- кнопка START;
- кнопки изменения выходного напряжения VOLTAGE;
- кнопки изменения емкости конденсаторной батареи CAPACITY;
- жидкокристаллический индикатор выходного напряжения и емкости конденсаторной батареи;

Вибратор выполнен в текстолитовом корпусе, внутри которого размещена магнитная система, содержащая магнитопровод, катушку и якорь. На якоре закреплен электрододержатель, позволяющий использовать электроды круглого и прямоугольного сечения. С нижней стороны корпуса вибратора выведен подстроечный винт, регулирующий амплитуду вибрации.

Перед включением установки необходимо установить электрод в электрододержатель вибратора, затем подключить ее к сети и переключить тумблер «СЕТЬ» в положение «Вкл.». Нажатием кнопки START на передней панели силового блока включается оборудование, при этом загораются подсветка жидкокристаллической панели и индикатор START. Кнопками VOLTAGE и CAPACITY устанавливают требуемое значение выходного напряжения и емкости конденсаторной батареи.

Перед обработкой подключают зажим к детали, нажатием на кнопку START запускают вибратор, подстроечным винтом устанавливают необходимую амплитуду его вибрации, а затем проводят электроискровое легирование.

По окончании процесса обработки повторным нажатием на кнопку START останавливают оборудование. По завершению работы выключить установку из сети.

При эксплуатации установки следует учитывать следующие рекомендации:

- при упрочнении стальных изделий рекомендуется перед обработкой основным электродом провести электроискровую обработку поверхности графитовым электродом.

– установка может быть использована для нанесения упрочняющих покрытий на режущий инструмент бытового и промышленного назначения, для нанесения износостойких, антикоррозионных и декоративных покрытий, для восстановления размеров изношенных деталей на толщину до 0,2 мм.

4 Порядок выполнения работы

4.1 Проконтролировать поверхность обрабатываемого образца в виде пластины перед нанесением покрытий на наличие грязи и ржавчины, если они присутствуют, то их необходимо очистить.

4.2 В электрододержатель вставить электрод, выданный преподавателем.

4.3 В соответствии с инструкцией по эксплуатации включить установку SE-5.01 и выставить параметры «U» и «С» (таблица 3).

Таблица 3 – Параметры установки для ЭИЛ

Материал электрода	Режимы ЭИЛ
Графит ЭГ-2	U = C =
Сталь Р6М5	U = C =
Твердый сплав ВК6	U = C =
(параметры напряжения U и емкости конденсаторной батареи C определяются преподавателем, $U < 70 \text{ В}$, $5 < C < 315 \text{ мкФ}$)	

4.4 Зажимом жестко закрепить образец.

4.5 Включить вибратор, электрод подводить к образцу и плавными возвратно-поступательными движениями наносить покрытие.

4.6 После нанесения покрытия отключить вибратор и подачу напряжения на электрод.

4.7 Провести испытание на прочность связи между покрытием и образцом путем его изгиба до появления трещины (показателем прочности выступает угол изгиба) [3].

4.8 Провести испытание на микротвердость покрытия путем вдавливания в него четырехгранной алмазной пирамиды под нагрузкой от 0,05 до 2 Н (от 5гс до 200 гс) с

последующем измерении диагонали отпечатка на установке ПМТ-3 [4]. Микро-твердость HV (МПа) определяется из соотношения нагрузки Р к площади боковой поверхности F пирамидального отпечатка:

$$HV = P/F = 1,854P/d^2, \quad (2)$$

где Р – нагрузка, Н;

d – среднее арифметическое значение длины обеих диагоналей отпечатка, мм.

4.9 По результатам испытаний сделать выводы.

5 Контрольные вопросы

5.1 В чем сущность процесса электроэрозионной обработки?

5.2 Какие особенности имеют этот процесс?

5.3 Как выбрать электрод для ЭИЛ?

5.4 Область применения ЭИЛ.

Список использованных источников

1 Поляк, М. С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения : в 2 т. / М. С. Поляк. – М. : Л. В. М. – СКРИПТ, Машиностроение, 1995. – Т. 1. – 832 с. – ISBN 5-217-02810-6.

2 Бойцов, А. Г. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами / А. Г. Бойцов, В. Н. Машков, В. А. Смоленцев, Л. А. Хворостухин. – М. : Машиностроение, 1991. – 144 с. – ISBN 5-217-01247-1.

3 Витязь, П. А. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 1998. – 583 с. – ISBN 985-08-0077-1.

4 Богодухов, С. И. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении: лабораторный практикум / С. И. Богодухов, А. Д. Проскурин, Р. М. Сулейманов; под общей редакцией С. И. Богодухова. – 2-е изд., исправл. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2008. – 218 с. – ISBN 978-5-7410-8.