

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

**Е. В. Коноплянченко**, к.т.н., доцент

**В. П. Яременко**, к.т.н., доцент

**В. А. Герасименко**, к.ф.-м.н.

Сумский национальный аграрный университет

*В работе рассмотрены задачи повышения долговечности и надежности деталей машин и оборудования, работающих в тяжелых условиях. Получено уравнение регрессии, которое представляет собой эмпирическую модель зависимости шероховатости от технологических факторов. Рассмотрено влияние параметров электроэрозионного легирования на основные характеристики обработанных поверхностей.*

**Ключевые слова:** надежность, оборудование, тяжелые условия эксплуатации, штамповый инструмент, качество, шероховатость, электроэрозионное легирования

**Введение.** Задачи повышения долговечности и надежности деталей машин и оборудования, работающих в тяжелых условиях решаются, как правило, путем применения высокопрочных нержавеющей сталей и сплавов, что влечет за собой большой расход, как дорогостоящих материалов, так и металлорежущего и штампового инструмента. Постоянный недостаток инструмента и дефицитных материалов ведет к снижению эффективности производства, затрудняет обеспечение требуемого качества продукции и, в конечном итоге, усложняет функционирование предприятия в условиях рыночных отношений.

Бурное развитие техники требует повышения режимов работы машин и механизмов (возрастания скоростей, давлений и т. д.), что, в свою очередь, диктует создание новых композиционных материалов типа «основа-покрытие», сочетающих защитные свойства покрытий с механической прочностью основы. Применение покрытий обуславливается еще и тем, что разрушение детали начинается с поверхности.

Одним из наиболее эффективных методов нанесения защитных покрытий на металлические поверхности является электроэрозионное легирование (ЭЭЛ).

Метод ЭЭЛ универсален, он используется для: увеличения твердости, коррозионной стойкости, износо- и жаростойкости; снижения способности к схватыванию поверхностей при трении; восстановлению размеров инструмента, деталей машин и механизмов; проведения на обрабатываемой поверхности микрометаллургических процессов для образования на ней необходимых химических соединений; создания на рабочей поверхности переходных слоев определенной шероховатости; нанесения радиоактивных изотопов; применения в декоративном искусстве и др. [1].

Изучение параметров процесса ЭЭЛ, влияющих на качество формируемых поверхностных слоев, является актуальной

задачей.

**Анализ основных достижений и публикаций.** Несмотря на неоспоримые достоинства, метод ЭЭЛ имеет и ряд недостатков (увеличение шероховатости, возникновение в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений, снижение усталостной прочности, ограничение толщины формируемого слоя), которые нередко ограничивают его применение для более широкого круга деталей машин [2-6].

Одним из основных недостатков ЭЭЛ является увеличение шероховатости поверхности сформированного покрытия. В работе [7] исследовалось влияние режимов ЭЭЛ на качественные параметры (в том числе и шероховатость) поверхностного слоя стали 45 легированной хромом на установке "ЭИЛВ-8".

Таким образом, **целью** работы является повышение качества покрытий, сформированных методом ЭЭЛ, путем установления зависимости между величиной шероховатости поверхности и технологическими параметрами процесса.

**Методика исследований**

Исследования по изучению интенсивности массопереноса вещества и степени наращивания поверхностного слоя проводили на подложках из железа Армко, стали 45 и 12X18H10T, применяя электроды из хрома, вольфрама и твердого сплава ВК8. При этом учитывали изменение шероховатости поверхности в зависимости от параметров режимов процесса ЭЭЛ.

Поверхность образцов площадью 1 см<sup>2</sup>, подвергаемая ЭЭЛ, обезжиривалась ацетиленом. В процессе легирования электрод перемещается по обрабатываемой поверхности возвратно-поступательными движениями со скоростью 0,5 - 2 см/с и амплитудой до 5 - 6 мм.

Используемые в исследованиях энергетические режимы работы установки "УИЛВ-8" приведены в табл.1.

Таблица 1 - Режимы работы установки «УИЛВ - 8»

Номер режима	Напряжение холостого хода $U_{х.х.}$ , В	Ток короткого замыкания $J_{к.з.}$ , А		Потребляемая мощность $N$ , Вт
		$C = 20$ мкФ	$C = 300$ мкФ	
1	38,5	0,2 - 0,4	1,0 - 1,4	250
3	56,1	0,5 - 0,6	1,6 - 2,0	То же
5	68,7	0,7 - 0,8	2,0 - 2,2	То же
7	78,6	0,9 - 1,0	2,4 - 2,6	То же

Шероховатость поверхностного слоя образцов определялась путем снятия и обработки профилограмм на профилографе-профилометре мод. 201 завода "Калибр"

Эрозия анода и привес катода определялись на аналитических весах ВЛА-200 с точностью до  $10^{-4}$  г. Причем замеры производились до 2 мин через 30 с, а затем до 4 мин через 60 с. Следует отметить, что перед каждым взвешиванием легирование производилось на новой поверхности образца.

Кроме того, регистрировалось время полного покрытия поверхности образца площадью  $1\text{ см}^2$ .

**Результаты исследований.** В табл. 2 приведены сводные данные по изменению шероховатости поверхности, а также количеству перенесенного вещества с электрода (анода) на катод (деталь) для образцов из железа Армко, стали 45 и 12Х18Н10Т в зависимости от режима ЭЭЛ хромом, вольфрамом и твердым сплавом ВК8 в течение 2 мин.

Таблица 2 - Шероховатость поверхности ( $R_a$ ) и привес катода ( $\Delta P_k$ ) при ЭЭЛ железа Армко, стали 45 и 12Х18Н10Т хромом, вольфрамом и твердым сплавом ВК8

Материал основы	Материал электрода	C, мкФ	Режим ЭЭЛ (см. табл. 1)			
			1	3	5	7
железо Армко	Хром	20	0/1,7	4,0/2,0	10,0/2,6	16,0/2,9
		300	12,0/2,9	17,0/3,5	22,0/4,8	37,0/6,5
	Вольфрам	20	3,0/1,6	12,0/2,7	17,0/3,2	22,0/4,0
		300	9,0/3,9	18,0/5,6	27,0/7,9	15,0/7,9
	ВК8	20	6,0/1,6	10,0/2,4	15,0/2,8	20,0/3,2
		300	9,0/3,9	18,0/5,6	27,0/7,9	39,0/10,9
сталь 45	Хром	20	0/1,5	5,0/1,9	12,0/2,4	19,0/2,8
		300	15,0/2,8	19,0/3,4	25,0/4,6	41,0/6,2
	Вольфрам	20	3,0/1,5	13,0/2,6	19,0/3,0	24,0/3,8
		300	11,0/3,8	20,0/5,4	30,0/7,8	18,0/10,5
	ВК8	20	7,0/1,5	12,0/2,2	17,0/2,6	25,0/3,0
		300	22,0/2,8	30,0/3,5	50,0/4,8	60,0/6,5
12Х18Н10Т	Хром	20	0/1,5	7,0/1,7	15,0/2,1	25,0/2,5
		300	17,0/2,5	23,0/3,1	29,0/4,2	45,0/2,5
	Вольфрам	20	5,0/1,5	15,0/2,5	21,0/2,2	25,0/3,5
		300	9,0/3,5	22,0/5,1	32,0/7,5	20,0/9,3
	ВК8	20	9,0/1,5	15,0/2,0	25,0/2,3	29,0/2,8
		300	25,0/2,7	35,0/3,2	58,0/4,5	70,0/6,0

\*В числителе приведен привес,  $\text{г} \cdot 10^{-4}/\text{см}^2$ , в знаменателе - шероховатость, мкм.

Анализируя данные табл. 2, можно сделать вывод, что ужесточение режима легирования приводит к ухудшению качества легируемой поверхности. Для хрома и твердого сплава ВК8 с увеличением параметров легирования как при емкости накопительного конденсатора  $C = 20$  мкФ, так и  $C = 300$  мкФ увеличивается привес катода и шероховатость поверхности покрытия. Для вольфрама данные зависимости сохраняются только при  $C = 20$  мкФ, а при  $C = 300$  мкФ шероховатость покрытия увеличивается, несмотря на то, что привес на катоде сменяется потерей веса, что свидетельствует о разрушении нанесенного ранее слоя.

Для решения вопросов, связанных с прогнозированием величины параметра шероховатости поверхностного слоя детали в зависимости от перенесенной массы материала и технологических режимов работы установки, выполнены исследования зависимости

$$R_a = f(\Delta P_k, J_{к.з.}, U_{х.х.}) \quad (1)$$

Исследованию подвергались образцы из железа Армко, стали 45 и 12Х18Н10Т с площадью легируемой поверхности  $1\text{ см}^2$  после ЭЭЛ хромом при емкости накопительного конденсатора  $C = 20$  мкФ. Для того, чтобы получить легируемую поверхность без пропусков (сплошность покрытия  $\sim 100\%$ ), ЭЭЛ производилось в течение 4 мин.

На основании анализа результатов предварительных исследований установлены следующие пределы изменения технологических факторов: перенесенная масса материала  $\Delta P_k = 4 \dots 32 \text{ г} \cdot 10^{-4}/\text{см}^2$ , ток короткого замыкания  $J_{к.з.} = 0,3 \dots 0,9 \text{ А}$ , напряжение холостого хода  $U_{х.х.} = 38,5 \dots 78,6 \text{ В}$ . В качестве исследуемой математической модели, выражающей связь между исходными технологическими факторами и выходными показателями процесса, принимаем степенную эмпирическую зависимость вида

$$Ra = C_R \Delta P_K^x J_{K.3}^y U_{x.x}^z \quad (2)$$

Для определения коэффициента  $C_R$  и показателей  $x, y, z$  преобразуем приведенную зависимость, представляя её в логарифмических координатах:

$$\ln Ra = \ln C_R + x \ln \Delta P_K + y \ln J_{K.3} + z \ln U_{x.x} \quad (3)$$

Вводя обозначение, а также члены, учитывающие взаимодействие факторов, получим выражение:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (4)$$

где  $y$  - значение выходного фактора  $Ra$  в логарифмическом масштабе;  $b_0, b_1, \dots, b_{123}$  -

выборочные оценки коэффициентов уравнения;  $x_1, x_2, x_3$  - преобразованные независимые переменные  $\Delta P_K, J_{K.3}, U_{x.x}$ .

Полученное уравнение регрессии представляет собой постулированную эмпирическую модель зависимости  $Ra$  от технологических факторов. Для определения коэффициентов уравнения используем полный факторный эксперимент типа  $2^3$ . Значение уровней исследуемых факторов, интервалов варьирования и кодовые обозначения независимых переменных приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Уровни факторов и интервалов варьирования

Уровни факторов	$\Delta P_K, \text{г} \cdot 10^{-4}$	$J_{K.3}, \text{А}$	$U_{x.x}, \text{В}$	Кодовые обозначения
Верхний	32	0,9	78,6	+1
Нижний	4	0,3	38,5	-1
Основной	18	0,6	58,55	0
Интервал варьирования	14	0,3	20,05	1

На основании предварительных исследований для достижения 5% - уровня значимости в каждой точке факторного пространства испытания необходимо проводить не менее трех раз, предварительно рандомизировав их порядок с помощью таблицы

случайных чисел. Обработку экспериментальных данных проводили по специальной разработанной программе.

Матрица планирования и результаты испытаний по определению шероховатости ( $Ra$ ) приведены в табл. 4.

Таблица 4 - Матрица планирования и результаты испытаний

№ опытной точки	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	$Ra_{оп}$		
								$y_1$	$y_2$	$y_3$
1	-	-	-	+	+	+	-	0,8	1,41	1,09
2	+	-	-	-	-	+	+	2,21	1,35	1,12
3	-	+	-	-	+	-	+	1,71	2,08	1,55
4	+	+	-	+	-	-	-	2,97	2,47	3,08
5	-	-	+	+	-	-	+	1,68	1,36	1,25
6	+	-	+	-	+	-	-	2,19	2,68	1,97
7	-	+	+	-	-	+	-	2,24	2,48	3,05
8	+	+	+	+	+	+	+	3,74	4,86	3,79

Полученная математическая модель имеет вид:

$$Ra = 0,038 \Delta P_K^{0,225} J_{K.3}^{0,54} U_{x.x}^{0,946} K_R \quad (5)$$

Она адекватно отображает влияние технологических факторов на параметр шероховатости. Поправочный коэффициент  $K_R = 1$  при легировании хромом, вольфрамом и твердым сплавом ВК8 и ёмкости накопительного конденсатора 20 мкФ. При  $C = 300$  мкФ, значениях тока  $J_{K.3} = 1,2 \dots 2,5$  А и перенесенной массы  $\Delta P_K = 14 \dots 40 \text{ г} \cdot 10^{-4} / \text{см}^2$  поправочный коэффициент  $K_R$  зависит от свойств легирующего материала и составляет 1,17; 1,59 и 1,26 соответственно для хрома, вольфрама и ВК8.

Полученная модель показывает, что значимыми оказались только линейные эффекты факторов  $\Delta P_K, J_{K.3}, U_{x.x}$ . Их парные взаимодействия оказывают незначительное влияние на шероховатость. Наибольшее влияние из трех выделенных линейных эффектов оказывают параметры режимов работы установки  $U_{x.x}$  и  $J_{K.3}$ .

### Выводы

Таким образом, установлено, что для получения минимальной шероховатости  $Ra$  легирование предпочтительно производить при минимальном напряжении  $U_{x.x}$ , средних величинах тока  $J_{K.3}$  и максимальных значениях перенесенной массы легирующего материала.

### **Список использованной литературы:**

1. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревутский В.М./ Кишинев: Штинца, 1985.- 196 с.
2. Гитлевич А. Е., Парканский Н. Я., Игнатьков Д. А. Об ограничении толщины слоев, формируемых в процессе электроискрового легирования // Там же.- 1981.- №3.- С. 25-29.
3. Чаругин Н. В. Влияние физико-химических явлений на технологические показатели процесса электроискрового легирования: Автореф. дис. к. т. н.- Тула, 1984.- 16с.
4. Чаругин Н. В., Мещеряков Н. Г. Физико-химические явления при электроискровом легировании металлов // Физико-химическая механика материалов.- 1989.- №4.- С. 43-48.
5. Верхотуров А. Д., Подчерняева И. А., Кириленко С. В. Хрупкое разрушение поверхностного слоя, формируемого в процессе электроискрового легирования // Электронная обработка материалов.- 1986.- №1.- С. 28-31.
6. А.Е. Гитлевич, А.И. Михайлюк, В.В. Михайлов. Процессы на электродах при электроискровом легировании - превращения на катоде // Там же.- 1995.- № 3.- С. 12-24.
7. В.Б. Тарельник. Исследование влияния режимов электроискрового упрочнения на качественные параметры покрытий // В сб. Конструирование и производство транспортных машин. Выпуск 24. - Киев, 1994. - С. 103 - 107.

### ***Коноплянченко Є.В., Яременко В.П., Герасименко В.О. Визначення залежності параметрів шорсткості поверхні від технологічних режимів електроерозійного легування***

*У роботі розглянуті завдання підвищення довговічності й надійності деталей машин і обладнання, що працюють у важких умовах. Отримано рівняння регресії, що являє собою емпіричну модель залежності шорсткості від технологічних факторів. Розглянуто вплив параметрів електроерозійного легування на основні характеристики оброблених поверхонь.*

**Ключові слова:** *надійність, обладнання, важкі умови експлуатації, штамповий інструмент, якість, шорсткість, електроерозійне легування*

### ***Konoplianchenko Ie.V., Yaremenko V.P., Gerasimenko V.A. Determine the of surface roughness dependence on electroerosive alloying technological modes***

*Problems of heightening of longevity and reliability of details of machines and the equipment, working in heavy conditions are solved, as a rule, by application of high-strength stainless steels and alloys that entails the big expenditure, both cost intensive materials, and metal-cutting and stamp instrument. Fixed deficiency of the instrument and scarce materials carries on to lowering a production efficiency, hampers security of demanded quality of production and, finally, complicates operation of the enterprise in conditions of market ratios.*

*In a paper the equation of regression which represents empirical model of dependence of a roughness from technology factors is received. The received model displays, that significant there were only linear effects of technology factors. Their pair interactions render insignificant influence on a roughness. The greatest influence from three chosen linear effects is rendered with parameters of operating modes of installation U x.x. Jk.z.. It is established, that the doping is preferable for making for deriving a minimum roughness at minimum effort, average current magnitudes and the maximal values of the transferred mass of a doping material.*

**Keywords:** *reliability, equipment, heavy conditions, stamp instrument, quality, roughness, electroerosive alloying*

Стаття надійшла в редакцію: 12.03.2015р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кочмола М.М.

