

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 621.793.7

ИНТЕГРИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ
ПОКРЫТИЙ И МЕТОДА ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

А.Н. Туренко, профессор, д.т.н., А.С. Полянский, профессор, д.т.н.,
С.А. Лузан, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Исследована возможность подготовки напыляемой газотермическим способом поверхности твердостью более HRC 40 методом электроискрового легирования. Разработаны математические модели массопереноса в зависимости от длительности легирования, а также шероховатости поверхности от мощности разряда при обработке.

Ключевые слова: газотермическое, газопламенное напыление, электроискровое легирование.

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ
ПОКРИТТІВ І МЕТОДУ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

А.М. Туренко, професор, д.т.н., О.С. Полянський, професор, д.т.н.,
С.О. Лузан, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Досліджено можливість підготовки напилюваної газотермічним способом поверхні твердістю більше HRC 40 методом електроіскрового легування. Розроблено математичні моделі масопереносу залежно від тривалості легування, а також шорсткості поверхні від потужності розряду при обробці.

Ключові слова: газотермічне, газополум'яне напилення, електроіскрове легування.

INTEGRATED TECHNOLOGY OF GASOTHERMAL EVAPORATION
COATINGS AND METHOD ELECTROSPARK LEGION

A. Turenko, Professor, Doctor of Technical Science, A. Polyanskiy, Professor, Doctor of Technical Science, S. Luzan, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

Abstract. The possibility of preparation of surfaces deposition by spraying with hardness more than HRC 40 by means of gasothermal method of electrospark legion is peslarched. The mathematical modelsof mass deposition depending on the legion duration as well as surface roughness on the power of discharge at processing are developed.

Key words: gasothermal, gasoflame evaporation, electrospark legion.

Введение

Технология газотермического нанесения покрытий, в том числе газопламенным способом, включает технологические операции по очистке и мойке деталей, созданию шероховатости на напыляемой поверхности с целью повышения прочности сцепления покрытия с основой. Для этого применяется ряд способов подготовки поверхности: обработка дробью, струйно-абразивная обработка, шлифо-

вание, нарезка треугольная, насечка зубилом, накатка, нарезка рваной резьбы и т.п. Однако перечисленные методы не могут обеспечить требуемую шероховатость при обработке стальных поверхностей твердостью более HRC 40.

Анализ публикаций

Электроискровое легирование (ЭИЛ) относится к электрофизическим методам. Метод ЭИЛ создан Б.Р. Лазеренко и Н.И. Лазеренко

одновременно с методом размерной электроэрозионной обработки в 1943 г. [1].

В дальнейшем исследованию процессов ЭИЛ и анализу теоретических и экспериментальных исследований посвящены также работы ученых: Б.Н. Золотых, Г.В. Самсонова, А.Д. Верхотурова, М.К. Мицкевича, Л.С. Палатника, К.К. Намитокова, Б.И. Ставицкого, Г.П. Иванова, И.А. Подчерняевой, В.А. Ки-ма, Ю.И. Мулина, Р. Pereteatcu др. [2].

Основным достоинством данного метода является возможность управлять фазовым составом, применяя в качестве электродных материалов для формирования поверхностного слоя различные металлы, их сплавы, карбиды, нитриды и др., получать высокую твердость этих слоёв. Покрытия, полученные с помощью ЭИЛ, имеют мелкодисперсную структуру, высокую прочность сцепления с упрочняемой основой, а также высокую сопротивляемость схватыванию и коррозии, в связи с формированием так называемой «белой» зоны покрытия, представляющей собой квазиравновесную систему, поверхностная энергия которой близка к нулю. В настоящее время метод ЭИЛ применяется в промышленности для повышения износостойкости и твердости поверхности деталей машин, в том числе для работы в условиях повышенных температур, жаростойкости и коррозионной стойкости поверхности, долговечности металлорежущего и штампового инструмента, восстановления изношенных поверхностей деталей машин при ремонте. Наряду с этим этот метод имеет недостатки, которые ограничивают его применение для широкого круга деталей машин. К ним относятся: повышение шероховатости обрабатываемой поверхности детали, неравномерность поверхностного упрочнения, снижение усталостной прочности детали, наличие в закаленных изделиях подслоя с пониженной твердостью, небольшая толщина нанесенного слоя.

Недостаток этого метода в части повышения шероховатости обрабатываемой поверхности является положительным моментом в случае применения его для подготовки напыляемой поверхности. Причем, изменяя технологические параметры электроискровой установки, можно управлять величиной создаваемой шероховатости, а применяя различные материалы для анода, управлять уровнем остаточных напряжений в напыленном покрытии и переходной зоне покрытие-основа. Необ-

ходимо отметить, что для ЭИЛ твердость обрабатываемой поверхности практически значения не имеет.

Цель и постановка задачи

Установить возможность интегрирования технологии газотермического напыления с методом электроискрового легирования для обеспечения подготовки напыляемой поверхности деталей автомобилей и транспортных средств твердостью более HRC 40 заданной шероховатости. Разработать математические модели, устанавливающие взаимосвязь массопереноса, а также шероховатости обрабатываемой поверхности от режимов ЭИЛ.

Анализ результатов исследования

Интенсивность электроэрозионных процессов при ЭИЛ оценивается по величинам эрозии анода и массопереносу материала анода на катод. Наибольшее влияние на эти процессы оказывают параметры режима ЭИЛ, свойства материалов анода и катода (детали), продолжительность легирования.

Для разработки интегрированной технологии газотермического напыления с методом ЭИЛ в качестве технологической операции по подготовке напыляемой поверхности необходимо установить зависимости массопереноса или привеса катода от режима легирования и применяемых материалов.

Экспериментальные исследования по ЭИЛ выполнялись с применением установки электроискрового легирования «Элитрон – 24А», рис. 1.



Рис. 1. Установка электроискрового легирования «Элитрон-24А»

Для электрода (анода) использовали нихром марки Х20Н80 ГОСТ 10994-74 и стержень, изготовленный из порошка марки ПГ-10Н-01 ТУУ 322-19-004-96. Химический состав электродов приведен в табл. 1.

Таблица 1 Химический состав электродов

Марка электрода	Химический состав, %							
	Ni	B	C	Si	Cr	Fe	Ti	Al
ПГ-10Н-01	Основа	2,8–3,4	0,6–1,0	4,0–4,5	14,0–20,0	4,0–4,5	–	–
X20H80	Остальное	–	Не более 0,1	0,9–1,5	20,0–23,0	Не более 1,5	Не более 0,3	Не более 0,2

Выбор материалов анода для ЭИЛ определялся маркой напыляемого порошка ПГ-10Н-01, т.е. наиболее близких по химическому составу. Для получения максимальной шероховатости поверхности обработка осуществлялась на жестком режиме: амплитуда импульсов напряжения 80–90 В, ток короткого замыкания 1,8–2 А, емкость конденсатора 80 мкФ. На рис. 2 представлены зависимости массопереноса (привеса катода G_k) при легировании стали 45 от длительности легирования.

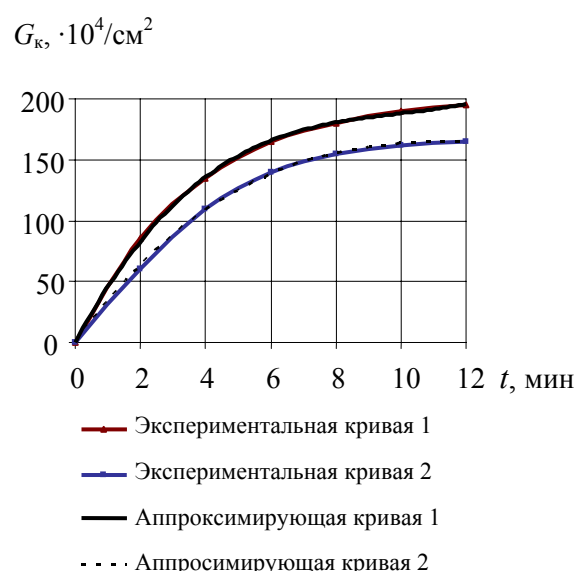


Рис. 2. Массоперенос материала анода при легировании стали 45: 1 – сплав ПГ-10Н-01; 2 – нихром X20H80

Анализируя экспериментальные данные, можно сделать выводы, что механизм структурообразования при ЭИЛ сплавом ПГ-10Н-01 и нихромом аналогичен. На первых 2–4-х минутах легирования происходит наиболее интенсивный привес массы катода, причем у сплава ПГ-10Н-01 более значительно, чем у нихрома. При достижении времени обработки 10 мин наступает замедление массопереноса вплоть до полного прекращения, т.е. процесс отложения на поверхности катода становится равным процессу разрушения

покрытия и выносу его материала из зоны обработки. В результате обработки на поверхности основы образуется слой значительной толщины: 48–55 мкм для сплава ПГ-10Н-01 и 38–43 мкм нихрома, что можно объяснить неограниченной растворимостью в γ – железе никеля и хрома.

После аппроксимации экспериментальных кривых получаем уравнения, представляющие полиномиальные функции третьей степени

$$G_{k1} = 0,156t^3 - 4,687t^2 + 50t + 0,714; \quad (1)$$

$$G_{k2} = 0,062t^3 - 2,702t^2 + 37,214t - 1,119. \quad (2)$$

Коэффициенты корреляции составляют $R_1^2 = 0,9997$ и $R_2^2 = 0,9992$. Выражения (1, 2) являются математическими моделями, устанавливающими зависимость привеса катода – основы из стали 45 от длительности ЭИЛ.

Шероховатость поверхности, получаемой после ЭИЛ, измеряли прибором Английской фирмы Taylor Hobson, рис. 3.



Рис. 3. Прибор для измерения шероховатости Английской фирмы Taylor Hobson

Таблица 2 Шероховатость поверхности образцов из стали 45 после ЭИЛ

Материал основы	Материал электрода	C, мкФ	Шероховатость поверхности R_z , мкм			
			Режим ЭИЛ*			
			1	2	3	4
Сталь 45	ПГ-10Н-01	80	4,3	5,8	7,2	9,5
Сталь 45	X20H80	80	4,1	5,6	6,9	8,3

*Режим ЭИЛ: 1 – $I_{кз}=0,3-0,4$ А, $U=42,4$ В, $C=80$; 2 – $I_{кз}=0,8-0,9$ А, $U=58,3$ В, $C=80$; 3 – $I_{кз}=1,3-1,4$ А, $U=74,3$ В, $C=80$, 4 – $I_{кз}=1,8-2$ А, $U=90$ В, $C=80$.

В табл. 2 приведены результаты измерения шероховатости для образцов из стали 45 в зависимости от режимов ЭИЛ сплавом ПГ-10Н-01 и нихромом в течение 6 м.

На рис. 4 представлены результаты экспериментальных исследований шероховатости поверхности образцов из стали 45 после ЭИЛ материалами ПГ-10Н-01 (кривая 1) и нихромом марки X20H80 (кривая 2) в зависимости от мощности разряда N_p .

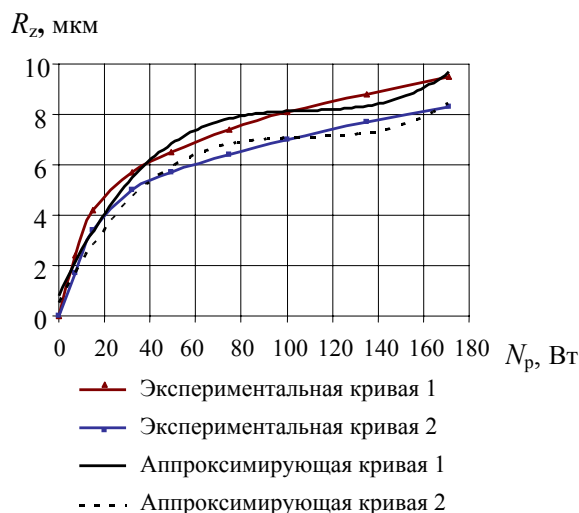


Рис. 4. Шероховатость поверхности образцов из стали 45 после ЭИЛ материалами в зависимости от мощности разряда: 1 – ПГ-10Н-01; 2 – нихром X20H80

Анализируя полученные экспериментальные кривые, делаем вывод, что ужесточение режима легирования приводит к увеличению шероховатости легируемой поверхности. Причем характер изменения шероховатости для исследованных материалов катода аналогичный. Наиболее интенсивно шероховатость растет при увеличении мощности разряда до 60 Вт и далее прирост стабилизируется. В качестве более предпочтительного из исследованных материалов электрода для ЭИЛ, обес-

печивающего более высокий массоперенос материала и высокую шероховатость обрабатываемой поверхности, является сплав ПГ-10Н-01. Кроме того, учитывая, что напыляемое покрытие из того же материала, следует ожидать более высокую прочность сцепления покрытия с основой и низкий уровень остаточных напряжений в покрытии и переходной зоне покрытие-основа.

В результате аппроксимации экспериментальных кривых получаем уравнения, представляющие полиномиальные функции третьей степени

$$R_{z1} = 5 \cdot 10^{-6} N_p^3 - 0,002 N_p^2 + 0,197 N_p + 0,816 ;$$

$$R_{z2} = 5 \cdot 10^{-6} N_p^3 - 0,002 N_p^2 + 0,197 N_p + 0,506.$$

Коэффициенты корреляции $R_1^2 = 0,974$ и $R_2^2 = 0,981$. Полученные теоретические зависимости являются математическими моделями шероховатости поверхности образцов из стали 45 после ЭИЛ материалами ПГ-10Н-01 и нихромом X20H80 в зависимости от мощности разряда при обработке.

Выводы

Результаты проведенных исследований подтверждают возможность интегрирования способов газотермического напыления, в т. ч. газопламенного, с методом ЭИЛ с целью обеспечения подготовки напыляемой поверхности деталей автомобилей и транспортных средств твердостью более HRC 40 с заданной шероховатостью.

Механизм структурообразования при ЭИЛ сплавом ПГ-10Н-01 и нихромом X20H80 аналогичен.

В течение первых 2–4-х минут легирования происходит наиболее интенсивный привес

массы катода, причем у сплава ПГ-10Н-01 более значительно, чем у нихрома. При достижении времени обработки 10 мин наступает замедление массопереноса вплоть до полного прекращения.

В результате ЭИЛ на поверхности основы из стали 45 образуется слой значительной толщины: 48–55 мкм для сплава ПГ-10Н-01 и 38–43 мкм нихрома.

Установлено, что ужесточение режима легирования приводит к увеличению шероховатости легируемой поверхности. Причем характер изменения шероховатости для исследованных материалов электрода аналогичный.

Разработаны математические модели, устанавливающие зависимость массопереноса или привеса катода – основы из стали 45 в зависимости от длительности ЭИЛ, а также шероховатости поверхности образцов из ста-

ли 45 после ЭИЛ в зависимости от мощности разряда при обработке.

Литература

1. Лазаренко Б.Р. Современный уровень развития электроискровой обработки металлов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко // Электронная обработка материалов. – 1977. – № 3. – С. 12–16.
2. Коротаяев Д.Н. Создание износостойких покрытий электроискровым легированием в окислительных средах и инертных средах с оптимизацией режимов и использованием твердосплавных электродов : автореф. дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук : спец. 05.02.01 «Материаловедение» / Д.Н. Коротаяев. – Омск, 2009. – 35 с.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 1 июня 2011 г.
