

ВЛИЯНИЕ МЕЖЭЛЕКТРОДНОЙ СРЕДЫ В ВИДЕ ПОТОКА ВОЗДУХА НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛИ

Кудинов Е.А., Леонов С.Д., Скрипцов Д.Р.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСИС»,
Старый Оскол*

Ключевые слова: электроискровое легирование, межэлектродная среда, графитовый электрод, твердость, глубина цементации, шероховатость поверхности.

Аннотация. Рассматривается способ повышения ресурса деталей машин путем обработки методом электроискрового легирования различными графитовыми электродами в межэлектродной среде, сформированной потоком воздуха. Электроискровая цементация проводилась электродами типа ВДК и ГЭ. Формирование межэлектродной среды обеспечивалось специальным модернизированным электрододержателем. Представлено сравнение параметров слоев, полученных электроискровой цементацией. Сформулированы выводы и направление дальнейших исследований.

THE INFLUENCE OF AN INTERELECTRODE ENVIRONMENT IN THE FORM OF AN AIR FLOW ON THE PROCESS OF ELECTRIC SPARK CARBURIZING OF STEEL

Kudinov E.A., Leonov S.D., Skriptsov D.R.

*Stary Oskol Technological Institute named after. A.A. Ugarov (branch)
National Research Technological University "MISIS", Stary Oskol*

Keywords: electric spark alloying, interelectrode environment, graphite electrode, hardness, carburization depth, surface roughness.

Abstract. This paper examines a method for increasing the service life of machine parts by using electric spark alloying with various graphite electrodes in an interelectrode environment formed by an air flow. Electric spark carburization was performed using VDK and GE electrodes. The interelectrode environment was formed using a specially modified electrode holder. A comparison of the parameters of layers produced by electric spark carburization is presented. Conclusions and directions for further research are provided.

Одним из перспективных методов повышения поверхностной прочности и износостойкости является электроискровое легирование. Данный процесс основан на переносе материала электрода на деталь при протекании кратковременных импульсных разрядах в газовой среде. В зависимости от состава электрода можно получать покрытия с различными физико-механическими свойствами. Применение графитовых электродов для электроискрового легирования является аналогом процесса цементации – насыщения поверхности стальной детали углеродом. Положительное влияние электроискрового легирования в различных защитных газовых средах подтверждается в исследованиях [1, 2].

При проведении экспериментов электроискровая цементация выполнялась на торцевых поверхностях образцов из стали марки Ст3 диаметром 38 мм. Для обработки поверхностей образцов использовались графитовые электроды марок ВДК и ГЭ. Электроды ВДК – воздушно-дуговые круглые, предназначенные для

воздушно-дуговой резки металлов, удаления прибылей и дефектов литья, строжки электроприхваток и сварных швов, для сварки и других работ. Электроды ГЭ – графит электродный, малозольный, крупнозернистый общего назначения. Графит электродный по физико-механическим свойствам и способу получения схож с материалом графитированных электродов, применяемых в электротермических печах. Характеристики электродов представлены в таблице 1.

Табл. 1. Характеристики графитовых электродов

Марка электродов	ГЭ	ВДК
Удельное электрическое сопротивление, Ом·м, не более	21	0,1
Механическая прочность при изгибе, МПа, не менее	22	12
Содержание золы, %, не более	1,5	1,5
Плотность, г/см ³	1,5	2,0

Эксперименты проводились на установке электроискрового легирования модели Alier-Metal G53. Электроискровая цементация осуществлялась электродами ГЭ и ВДК со скоростью 0,94 и 0,63 см²/мин, соответственно. Формирование цементированного слоя проводилось на следующих режимах: сила тока $I = 200$ А, длительность импульсного разряда $\tau = 1500$ мкс, частота следования импульсных разрядов $f = 40$ Гц, коэффициент энергии – 1,0. [3]

Формирование слоев производилось в защитной воздушной среде из потока воздуха под давлением 0,2 МПа. Для этого электрододержатель был модернизирован. Подача воздуха осуществлялась с помощью специального сопла с расходом 10 л/мин.

Внешний вид установки и модернизированного электрододержателя представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Установка для электроэрозионного нанесения металлических покрытий Alier-Metal G53

На рисунке 2 представлен внешний вид образцов из стали марки Ст3 после электроискровой цементации.

При проведении экспериментов производилось сравнение следующих параметров: масса образца и электрода, толщина образца, шероховатость поверхности, сформированной методом электроискровой цементации. Значения указанных параметров представлены в таблице 2.



а



б

Рис. 2. Внешний вид образцов: а – после ЭИЛ ГЭ; б – после ЭИЛ ВДК

Табл. 2. Сравнительные характеристики образцов и электродов

Тип электрода	Масса образца, г		Масса электрода, г		Толщина образца, мм		Шероховатость покрытия Ra, мкм
	до	после	до	после	до	после	
ГЭ	62,150	62,140	15,600	15,550	6,465	6,820	более 12,5
ВДК	63,045	63,035	7,090	6,755	6,565	6,615	5,558

Анализируя данные, представленные в таблице 2, масса образцов при электроискровой цементации не изменилась. Масса электродов изменилась на 0,05 г для электрода типа ГЭ и на 0,335 г для электрода типа ВДК, что объясняется различной скоростью испарения графита под воздействием электрического тока в процессе электроискровой цементации.

Измерения твердости производились по методу Микро-Викерса с нагрузкой 0,05 кг. Полученные значения и схема измерения представлены в таблице 3 и на рисунках 3, 4.

Табл. 3. Параметры сформированных покрытий

Тип электрода	Глубина сформированного слоя, мкм	Твердость слоя, HRC	Твердость слоя, HV, кг·с/мм ²
ГЭ	174,64	68-75	921-1485
ВДК	изменение твердости не обнаружено		

В результате анализа представленных в таблице 3 данных, было выявлено, что формирование цементированного слоя электродом типа ВДК в межэлектродной среде, сформированной из потока воздуха, на исследуемых в данной работе режимах легирования, не происходит.

При электроискровой цементации электродом ГЭ, в свою очередь, происходит формирование упрочненного слоя на глубину до 175 мкм и твердостью до 75 HRC. Схожие результаты были получены в исследовании [4].

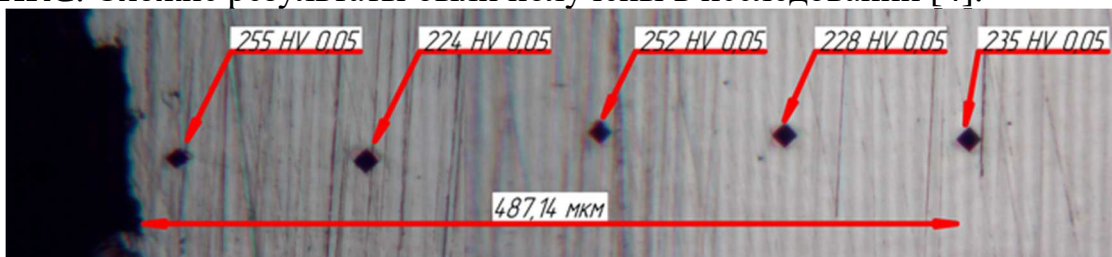


Рис. 3. Твердость слоя, сформированного электродом типа ВДК

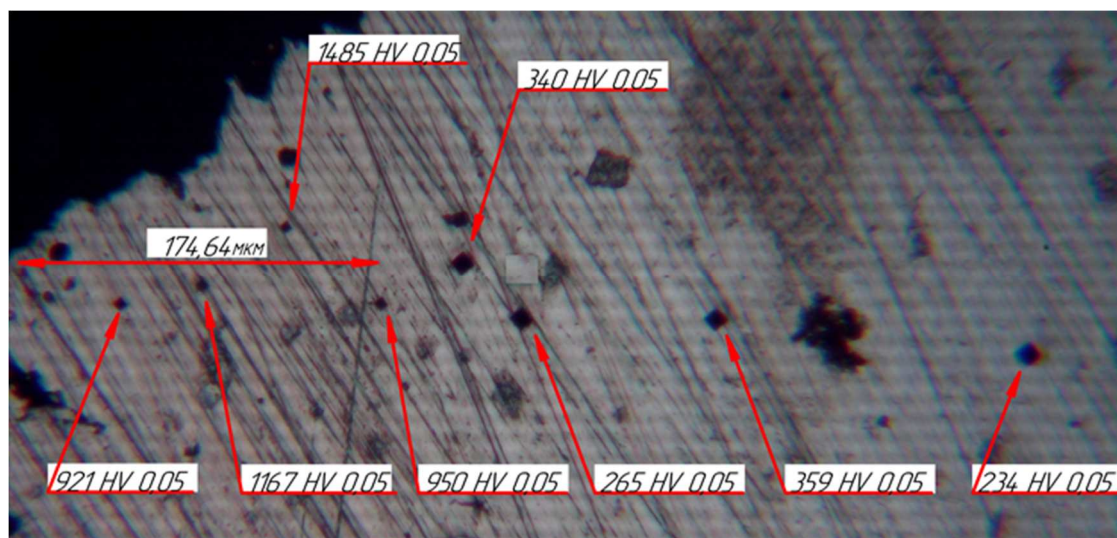


Рис. 4. Твердость слоя, сформированного электродом типа ГЭ

Шероховатость поверхности по параметру Ra цементированного электродом типа ГЭ слоя составила более 12,5 мкм. Для цементированного электродом типа ВДК слоя шероховатость поверхности по параметру Ra составила 5,56 мкм. Такой характер формирования шероховатости поверхности цементированного слоя электродом типа ВДК может свидетельствовать либо об отсутствии цементированного слоя, либо об его малой толщине [5].

Таким образом, целесообразно выполнить дальнейшие исследования по определению режимов электроискровой цементации электродом типа ВДК, обеспечивающих формирование цементированного слоя.

Список литературы

1. Коротаев Д.Н. Влияние газовых сред на технологические возможности электроискрового легирования: Дисс. ... канд. техн. наук. – Благовещенск, 1998 – 203 с.
2. Лазаренко Н.И. О механизме образования покрытий при электроискровом легировании металлических поверхностей // Электронная обработка материалов. – 1965. – №1. – С. 49-53.
3. Жулдыбин А.А., Владимирова А.А., Шаповалов А.И. Оптимизация энергетических параметров при механизированной электроискровой обработке // Металлообработка. – 2025. – №6(150). – С. 14-24.
4. Орлов И.А. Исследование микротвердости стали Х12МФ после электроискрового легирования графитовым электродом // Научный альманах. – 2024. – №3-4(113). – С. 48-50.
5. Мезенцов С.А., Родионов И.В. Формирование карбидных и карбонитридных покрытий на титане методом электроискрового легирования // Вопросы электротехнологии. – 2018. – №1(18). – С. 80-84.

Сведения об авторах:

Кудинов Егор Алексеевич – ассистент;

Леонов Сергей Дмитриевич – студент;

Скрипцов Дмитрий Русланович – студент.