

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 90-летию Сибирского
государственного индустриального университета*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2019»**

23 – 24 октября 2019 г.

*Труды
XXI Международной научно-практической конференции
Часть 2*

**Новокузнецк
2019**

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянцев, д.т.н., профессор Г.В. Галевский,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский,
к.т.н., доцент С.Г. Коротков

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXI Международной
научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова;
Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 463 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и
технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения,
рециклинга и экологии в металлургии.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «Русал Новокузнецк»
АО «Кузнецкие ферросплавы»
ОАО «Черметинформация»
Издательство Сибирского отделения РАН
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»
Журнал «Вестник СибГИУ»
Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»
АО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2019

trode materials. Science 354, 1031–1036 (2016)

3. Agrawal, P. M., Rice, B. M. & Thompson, D. L. Predicting trends in rate parameters for self-diffusion on fcc metal surfaces. Surf. Sci. 515, 21–35 (2002).

4. Ray Browell, Dr. Guoyo Lin. The power of nonlinear materials capabilities. Ansys solutions 2000, volume 2, number 1.

5. Чернявский А.О. Метод конечных элементов. Основы практического применения М. : Машиностроение, 2003. – 24 с.

6. Ansys в руках инженера: Практическое руководство. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

7. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Изд. 3-е в двух частях. Часть вторая. Механические испытания. Конструкционная прочность. – М.: Машиностроение, 1974.

8. Хван А.Д., Хван Д.В., Осинцев А.П. Повышение стойкости инструментальной стали Х12М. Вестник Воронежского государственного технического университета, 2012. Т. 8. № 5. С. 131-134.

9. Патент RU 37 221 U1 «Устройство для испытания покрытия на отслоение» 2003135362/20, 09.12.2003 Опубликовано: 10.04.2004 Бюл. № 10, Автор (ы): Илюшкин М.В. (RU), Филимонов В.И. (RU), Филимонов А.В. (RU).

10. Табаков В.П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана. Ульяновск: УлГТУ, 1998. 122 с.

11. Табаков В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. М.: Машиностроение, 2008. 311 с.

12. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.

13. Табаков, В.П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями в условиях стесненного резания / В.П. Табаков, Д.И. Сагитов. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 197 с.

УДК 669.15:620.186:539.12

ОСОБЕННОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛОВ ИМПУЛЬСНЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ СТРУЯМИ, ФОРМИРУЕМЫМИ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ ПРОВОДНИКОВ

Будовских Е.А., Башенко Л.П., Райков С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, budovskikh@mail.ru*

***Аннотация.** Представлен анализ результатов экспериментальных исследований, полученных методами современного физического материаловедения поверхностных слоев металлов и сплавов после электровзрывного легирования.*

***Ключевые слова:** электровзрывное легирование, электровзрывное напыление, упрочнение поверхности металлических материалов.*

FEATURES OF DOPING OF SURFACE LAYERS METAL PULSED PLASMA JETS, FORMED BY THE ELECTRICAL EXPLOSION OF CONDUCTORS

Budovskikh E.A., Bashchenko L.P., Raikov S.V.

Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia, budovskikh@mail.ru

***Abstract.** The analysis of the results of experimental studies obtained by methods of modern physical material science of the surface layers of metals and alloys after electroexplosive alloying is*

presented.

Keywords: *electroexplosive alloying, electroexplosive spraying, surface hardening of metal materials.*

Одними из перспективных методов обработки поверхности, получившими развитие в последние годы, являются электровзрывное легирование (ЭВЛ) и электровзрывное напыление (ЭВН) [1 – 3].

Диаграмма реализованных технологических процессов обработки поверхности на установке ЭВУ 60/10 показана на рисунке 1 (здесь q – плотность мощности, поглощаемая поверхностью при обработке и определяемая энергией заряда; m – масса взрываемого проводника и порошковой навески, помещаемой в область взрыва).

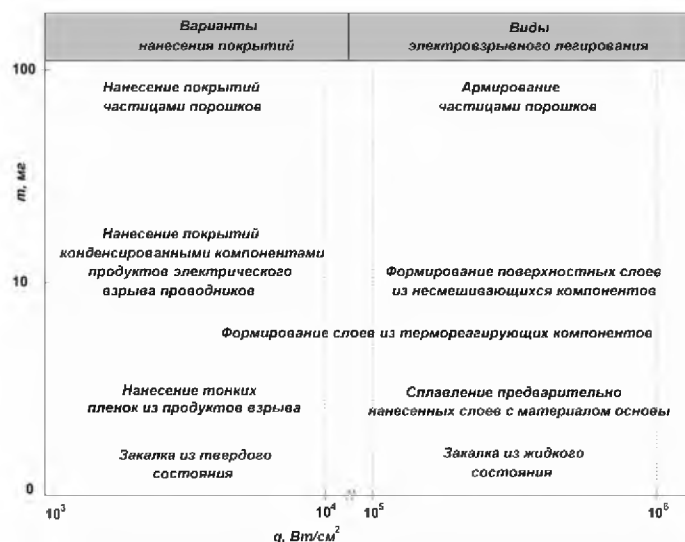


Рисунок 1 – Диаграмма технологических процессов поверхностного легирования и нанесения защитных покрытий с использованием многофазных плазменных струй, реализованных на установке ЭВУ 60/10

В первой области при значении поглощаемой плотности мощности порядка 10^3 Вт/см² в зависимости от массы взрываемого проводника возможно нанесение покрытий частицами порошка, нанесение покрытий конденсированными продуктами взрыва, нанесение тонких пленок из продуктов взрыва, закалка из твердого состояния. Масса взрываемого проводника порядка 100 мг обеспечивает нанесение покрытий частицами порошка. Уменьшение массы до значений порядка 10 мг обеспечивает нанесение покрытий конденсированными продуктами взрыва. При дальнейшем уменьшении массы взрываемого проводника содержание и дисперсность конденсированных частиц продуктов взрыва в струе уменьшается. В этом случае оказывается возможным нанесение на облучаемую поверхность тонких пленок. При малых значениях массы взрываемого проводника положительный эффект обработки достигается также вследствие импульсной закалки поверхностных слоев из твердого состояния. Во второй области, где поглощаемая плотность мощности порядка 10^5 Вт/см², обработка с использованием порошковых навесок позволяет проводить армирование оплавляемых поверхностных слоев частицами различных веществ (карбидов, оксидов, боридов и др.), помещаемых в область взрыва и переносимых на облучаемую поверхность. В случае, когда порошковые навески не используются, возможно осуществление такого вида ЭВЛ, при котором расплав, образующийся на поверхности, насыщается продуктами взрыва проводников, в качестве материала которых могут выступать, например, тонкие фольги металлов и сплавов, углеродные и другие волокна.

Перспективы дальнейших научных исследований и практических разработок в области ЭВЛ и ЭВН связываются с электровзрывным формированием на поверхности металлов и сплавов новых структурно-фазовых состояний с использованием терморезирующих компо-

нентов (рисунок 2). В этом случае наблюдается ускорение физико-химических процессов взаимодействия легирующих элементов с материалом подложки и друг с другом, сопровождающихся синтезом упрочняющих фаз (рисунок 3).

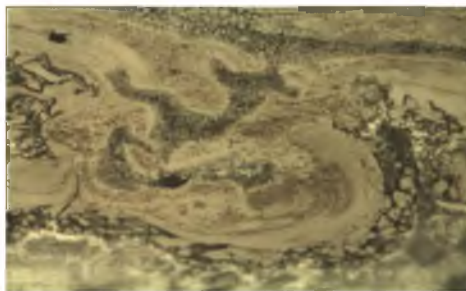


Рисунок 2 – Изображение особенностей структуры границы раздела зоны электровзрывного титанирования алюминиевой подложки.

Световая микроскопия, $\times 1000$

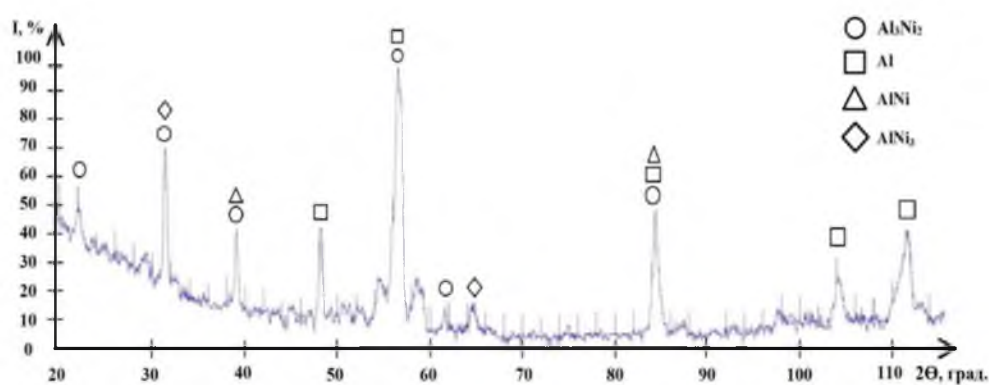


Рисунок 3 – Дифрактограмма поверхности зоны электровзрывного никелирования алюминиевой подложки

Наиболее перспективными для практического использования ЭВЛ и ЭВН являются следующие направления.

1. Упрочнение режущих и штамповых металлообрабатывающих инструментов (сверл, резцов, пуансонов, штампов и др.).
2. Упрочнение волоочильных, буровых и горно-режущих инструментов из карбидовольфрамовых твердых сплавов.
3. Защита поверхности медных электрических контактов от электроэрозионного разрушения. В настоящее время разработано более десятка видов покрытий систем W – Cu, Mo – Cu, TiB₂ – Cu, W – C – Cu и Mo – C – Cu. Максимальная площадь обрабатываемой поверхности составляет 30 см².
4. Повышение износо- и жаростойкости титановых сплавов при различных видах легирования.

При выборе номенклатуры деталей и инструментов для обработки следует исходить, прежде всего, из размеров и формы упрочняемой поверхности. Наилучшие результаты достигаются на плоских поверхностях диаметром до 30 мм.

Библиографический список

1. Багаутдинов, А. Я. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А. Я. Багаутдинов, Е. А. Будовских, Ю. Ф. Иванов, В. Е. Громов. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 301 с.
2. Романов, Д. А. Электровзрывное напыление износо- и электроэрозионностойких покрытий / Д. А. Романов, Е. А. Будовских, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов. – Новокузнецк: Изд-

во «Полиграфист», 2014. – 203 с.

3. Райков, С. В. Формирование структуры, фазового состава и свойств поверхности титановых сплавов при электровзрывном легировании и последующей электронно-пучковой обработке / С. В. Райков, Е. А. Будовских, В. Е. Громов и др. – Новокузнецк: Изд-во «Полиграфист», 2015. – 290 с.

УДК 621.793.74

СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАЗМЕННОГО И ЭЛЕКТРОПУЧКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ СТАЛИ 35Л

Волокитин Г.Г.¹, Клопотов А.А.^{1,2}, Иванов Ю.Ф.³, Чумаевский А.В.⁴,
Калашников М.П.⁴, Волокитин О. Г.¹, Безухов К.А.¹

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, г.Томск

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г.Томск

³Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск

⁴Института физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, vgg-tomsk@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты применения гибридной технологии, сочетающей плазменное напыление порошка ПГСР-4 на активированную поверхность и последующим облучением интенсивным импульсным электронным пучком. Установлено, что наиболее высокой износостойкостью обладают образцы, подвергнутые комплексной обработке, сочетающей формирование плазменно-напыленного слоя и последующее облучение электронным пучком с плотностью энергии пучка электронов 20 Дж/см².

Ключевые слова: плазма, порошки, интенсивный импульсный электронный пучок, элементный и фазовый состав, структура, свойства.

Введение

Модифицирование поверхности стали при плазменном напылении порошка из семейства ПГСР на активированную поверхность позволяет получить оплавление поверхности и перемешиванием наносимых материалов с материалом подложки. Из литературных данных следует, что физико-механические свойства и структурно-фазовые состояния покрытий, созданные плазменным методом, зависят от многих факторов [1,2]. Таких как химический состав материала частиц и их распределение по размерам, состава материала подложки. В то же время технологические параметры установки также оказывают значительное влияние на адгезионные свойства и пористость покрытий. Применение комбинированных технологий, сочетающих последовательное использование напыления плазменных покрытий для получения композиционных покрытий с наполненной структурой, которые затем подвергались воздействию импульсных сильноточных электронных пучков. Такая гибридная технология в многих случаях позволяет значительно изменить физико-механические и трибологические свойств материала.

В данной работе представлены результаты по созданию на поверхности стали 35Л, износостойких покрытий, путем плазменного напыления порошка ПГСР-4 и последующим облучением интенсивным импульсным электронным пучком модифицированной таким образом поверхности.

Материал и методика эксперимента

На первом этапе в работе создали покрытие на поверхности образцов из стали 35Л при помощи оригинальной плазменной установки с двумя плазменными генераторами [3]. Такое одновременное использование двух плазменных генераторов позволяет создавать одновременное расплав на поверхности обрабатываемой детали, а также нагрев и внедрение в образованный расплав частиц наносимого порошка системы ПГСР-4. В качестве плазмообразующего газа использовался азот.

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2019»

Труды XXI Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

Технический редактор	В.Е. Хомичева
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 04.10.2019 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 27,0 Уч.-изд. л. 29,4 Тираж 300 экз. Заказ № 236

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ