

Национальная академия наук Беларуси

Межгосударственный координационный совет по физике прочности  
и пластичности материалов

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований

ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»

УО «Витебский государственный технологический университет»



**Международный симпозиум**

**«Перспективные  
материалы и технологии»**

**посвящен Году науки**

*22-26 мая 2017, Витебск, Беларусь*

**Материалы симпозиума**

*Часть 1*

**Витебск, Беларусь  
2017**

УДК 539.2  
ББК 22.27  
П 26

Под редакцией члена-корреспондента НАН Беларуси В.В. Рубаника

П 26      Перспективные материалы и технологии : материалы международного симпозиума (22–26 мая 2017 года, Витебск, Беларусь). В 2-х ч. Ч. 1 / под ред. В.В. Рубаника. – Витебск : УО «ВГТУ», 2017. – 328 с.

ISBN 978-985-481-504-6 (т. 1)  
ISBN 978-985-481-503-9

В материалах международного симпозиума представлены результаты исследований по проблемам материаловедения, обработки материалов, создания композиционных материалов. Обсуждены механизмы формирования структуры, результаты исследования структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры материалов, а также воздействия ультразвука, электромагнитного излучения, интенсивной пластической деформации на свойства различных материалов.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов – научных работников, инженеров, работающих в области материаловедения и физики конденсированного состояния, а также преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области материаловедения.

Тексты набраны с авторских оригиналов



ISBN 978-985-481-504-6 (т. 1)  
ISBN 978-985-481-503-9

© УО «ВГТУ», 2017

УДК 539.2  
ББК 22.25

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ $\text{Al-Y}_2\text{O}_3$ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Шляров В.В., Осинцев К.А., Бутакова К.А., Загуляев Д.В., Романов Д.А.  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Россия, E-mail: shlyarov@mail.ru

### Введение

Алюминий и сплавы на его основе обладают рядом уникальных свойств и заняли лидирующие позиции на производственном рынке цветных металлов. Развитие отдельных отраслей промышленности определяется качеством легких сплавов на основе алюминия. В настоящее время созданы конструкционные алюминиевые сплавы с уникальными свойствами, в том числе сверхлегкие сплавы, приближающиеся к удельной массе легких пластмасс, которые используются в авиации, атомной, ракетной и космической технике, а также электронике и электротехнике. Поэтому создание и изучение покрытий и сплавов на основе алюминия особенно актуально в настоящее время.

Известно, что сплавы алюминия с другими редкоземельными элементами обладают уникальными свойствами [1]. Формирование таких сплавов с использованием концентрированных потоков энергии в импульсном режиме с последующей самозакалкой позволяет формировать на поверхности металлической подложки сплавы с мелкозернистой структурой и новым уровнем свойств.

На сегодняшний день существует несколько методов нанесения покрытий, с помощью потоков частиц, обладающих высокой энергией. К ним относятся: напыление покрытий газопламенным методом [2], плазменно-дуговое напыление, детонационное напыление, электродуговая металлизация [3] и другие.

Коллективом кафедры естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля нашего университета была разработана установка по формированию покрытий на металлическую подложку методом электровзрывного легирования (ЭВЛ) [4]. Принципом данной установки является воздействие на поверхность материала образца импульсной плазменной струей, сформированной из продуктов электрического взрыва фольги с наполнителем порошка [5].

### Основная часть

В качестве материала подложки для исследований были использованы образцы сплава  $\text{Al-Si}$  (силумин). Образцы имели форму параллелепипеда, размером  $20 \times 20 \times 10$  мм. Предварительно, перед проведением серии испытаний, проводилась пробоподготовка. Образцы подвергались механической обработке, которая заключалась в шлифовке и полировке плоскости образца, и доведение поверхности до зеркального состояния. Затем было произведено химическое травление реагентом Келлера. Этот травитель дает возможность выявлять границы зерен и выделения во многих деформируемых сплавах. Время травления подбирали опытным путем. После травления образцы тщательно промывали проточной водой и высушивали.

В ходе работы был выбран режим, по которому проводилось нанесение покрытия системы  $\text{Al-Y}_2\text{O}_3$  на подложку из силумина.

Подбор режима состоял в изменении значений напряжения и масс напыляемого порошка [6]. По результатам испытаний был выбран режим с оптимальными характеристиками получаемой обрабатываемой поверхности, в качестве которых выступали толщина и значения микротвердости получаемого слоя.

На данном этапе работы мы можем утверждать, что слой напыляемого порошка  $\text{Y}_2\text{O}_3$  получается достаточно равномерным и однородным. Это подтверждается фотографиями, полученными на оптическом микроскопе OLYMPUS GX51. Одно из таких изображений представлено на рисунке 1. Толщина напыленного слоя на образцах с различными режимами электровзрывного легирования варьируется от 25 до 80 мкм. Полученный слой имеет многофазную структуру, а определение его фазового состава является темой дальнейших исследований.

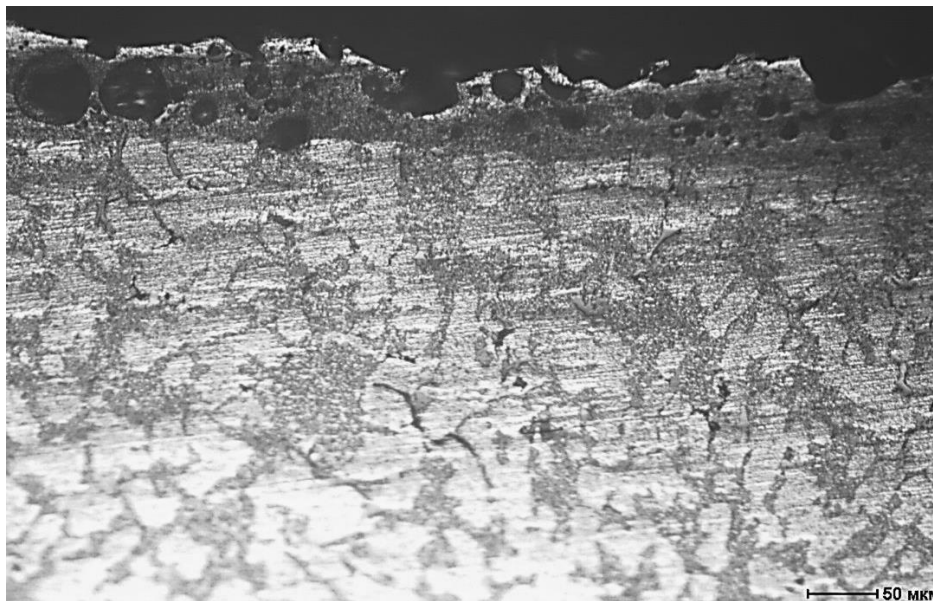


Рисунок 1 – Покрытие системы Al-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> полученное методом электровзрывного легирования (увеличение 20X)

На обработанных образцах были произведены измерения микротвердости на микротвердомере HVS-1000 в напыленном слое и в подложке на различных расстояниях от зоны термического влияния. Микроиндентирование проводилось на прямых шлифах. Пример проведения процедуры микроиндентирования представлен на рисунке 2.

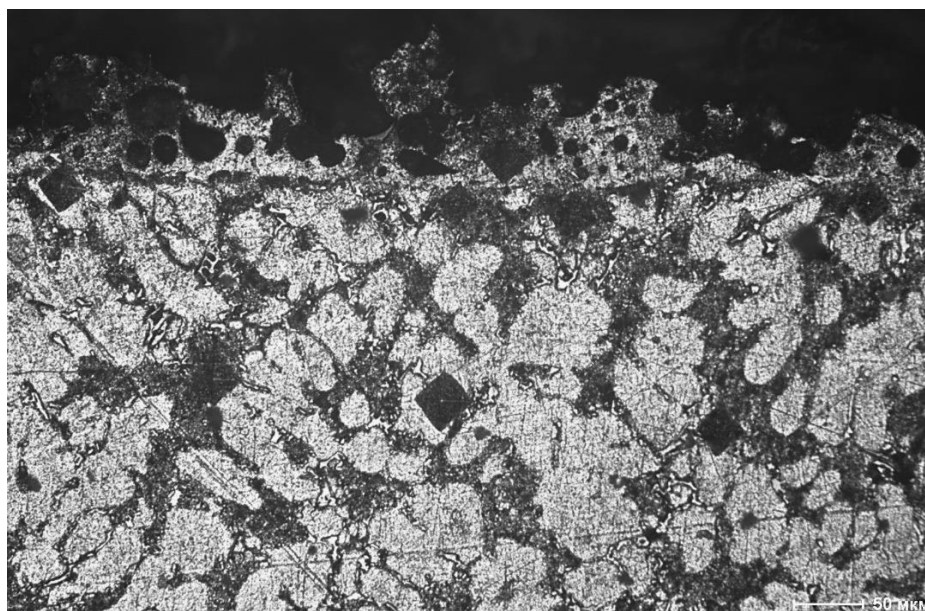


Рисунок 2 – Проведение микроиндентирования на образцах силумина после электровзрывного легирования

По результатам проведенного дюрOMETрического анализа были выявлены два режима, показавшие наибольшие значения микротвердости покрытия. Такими режимами стали:

1. Масса навески порошка Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, m = 0,0589 г, напряжение, U = 2,8 кВ, значение микротвердости – 130,51±10,40 HV.

2. Масса навески порошка Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, m = 0,0883 г, напряжение, U = 2,6 кВ, значение микротвердости – 161,2±17,94 HV.

Толщина напыленного слоя образца, обработанного в первом режиме, составила 50 мкм, а во втором – 80 мкм.

### Заключение

В ходе работы были получены покрытия системы Al-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, путем электровзрывного легирования. Были выбраны оптимальные режимы обработки, при которых слой напыляемого порошка Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, на подложку из силумина получается равномерным и однородным, что подтверждается изображениями, полученными с использованием оптической микроскопии. Значения микротвердости напыленного слоя при оптимальных режимах электровзрывного легирования составляют 130,51±10,40 HV и 161,2±17,94 HV. Для покрытий системы Al-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> структура является многофазной, индексирование микроэлектроннограмм для определения фазового состава является частью дальнейшей исследовательской работы. А также в дальнейшем планируется набрать более обширный круг статистических данных по измерению микротвердости исследуемого материала после электровзрывного легирования, проведение исследований механических свойств системы, а также проведение электронно-пучковой обработки на полученных при электровзрывном легировании образцах, с целью гомогенизации покрытия системы Al-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 3.1283.2017/ПЧ.

### Список литературы:

1. Савицкий Е.М., Терехова В.Ф., Буров И.В. Сплавы редкоземельных металлов. – Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 268 с.
2. Вопнерук А.А., Валиев Р.М., Ведищев Ю.Г., Шак А.В., Купцов С.Г., Фоминых М.В., Мухинов Д.В., Иванов А.В. Абразивная износостойкость покрытий, нанесенных методом высокоскоростного газопламенного напыления// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. -2010. -Т. 12, № 1-2. -С. 317-320.
3. Драганюк М.Н. Повышение физико-механических свойств покрытий, нанесенных методом электродуговой металлизации// Актуальные проблемы авиации и космонавтики. -2015. -Т. 1, № 11. -С. 60-62.
4. Sosnin K.V., Ivanov Yu.F., Gromov V.E. et al. Structure and Properties of Surface Layers obtained due to Titanium-Surface Alloying by Yttrium via Combined by Electron-Ion-Plasma Treatment//Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. -2014. -Vol. 8, No. 6.- P.1286 -1290.
5. 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.
6. Соснин К.В., Иванов Ю.Ф., Глезер А.М. и др. Комбинированное электронно-ионно-плазменное легирование поверхности титана иттрием: анализ структуры и свойств //Известия РАН. Серия физическая. -2014. -Т. 78, № 11. -С. 1454 -1458.

|                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Наумова Е.А.</b><br>ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ.                                                                                                                                                         | 51 |
| <b>Романюк Ф.А., Новаш И.В., Румянцев Ю.В., Румянцев В.Ю.</b><br>АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК                                                                                         | 54 |
| <b>Шмурадко В.Т., Пантелеенко Ф.И., Реут О.П., Руденская Н.А., Григорьев С.В.</b><br>ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОУДАРОПРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ-ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.                                                                              | 57 |
| <b>Овчинников В.И., Ильющенко А.Ф.</b><br>ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРЕГРАДУ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРЕ                                                                                                                                                                      | 60 |
| <b>Юркевич С.Н., Полякова Т.Л., Ващенко И.М., Андриенко К.Г., Аблажей Н.М.</b><br>ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ НА ДЕТАЛИ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ                                                                                                                      | 63 |
| <b>Юркевич С.Н., Люцкевич А.И., Алифанов А.В., Юркевич К.С.</b><br>ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ                                                                                             | 66 |
| <b>Шут В.Н., Мозжаров С.Е.</b><br>ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ СОНОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ                                                                                                                                                                 | 69 |
| <b>Лалетин В.М., Шут В.Н., Сырцов С.Р., Трубловский В.Л.</b><br>ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕМНОГО 3-0 КОМПОЗИТА ЦТС42 – $\text{NiFe}_{1.9}\text{Co}_{0.02}\text{O}_4$                                                                                                  | 72 |
| <b>Юркевич С.Н., Люцкевич А.И., Константинов В.М., Юркевич К.С.</b><br>ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ                                                                             | 76 |
| <b>Подболотов К.Б., Волочко А.Т., Гусаров С.В.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ СПЕКАНИЯ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ МИКРОПОРОШКОВ КОРУНДА                                                                                                                            | 79 |
| <b>Вальков В.И., Головчан А.В., Митюк В.И., Ткаченко Т.М.</b><br>СТРУКТУРА И СВОЙСТВА $\text{MnNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$ В ОБЛАСТИ СОСТАВОВ $0.10 \leq x \leq 0.25$                                                                                                      | 82 |
| <b>Глезер А.М., Карпов М.И., Пермязова И.Е., Штанский Д.В., Горшенков М.В., Щетинин И.В.</b><br>СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ НАНОЛАМИНАТОВ НА ОСНОВЕ Cu-Nb ПОСЛЕ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ (ИНТЕНСИВНОЙ) ДЕФОРМАЦИИ                                                | 85 |
| <b>Гончаров В.К., Пузырёв М.В., Ступакевич В.Ю.</b><br>ФОРМИРОВАНИЕ ИОННЫХ ПОТОКОВ ИЗ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ АЛЮМИНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПЛОТНОСТЯХ МОЩНОСТИ ВОЗДЕЙСТВУЮЩЕГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ                                                                                          | 88 |
| <b>Шляров В.В., Осинцев К.А., Бутакова К.А., Загуляев Д.В., Романов Д.А.</b><br>ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ $\text{Al-Y}_2\text{O}_3$ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ                                                                                                     | 91 |
| <b>Чумаков А.Н., Гулай А.В., Шевченко А.А., Баран Л.В., Кароза А.Г., Малютина-Бронская В.В., Гулай В.А., Босак Н.А.</b><br>ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{ZnO}$ С ЛЕГИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ ИТО                                                     | 94 |
| <b>Белявин К.Е., Сосновский И.А., Кузнечик О.О., Курилёнок А.А., Журавский А.Н.</b><br>ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ И АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ РЕЖИМОВ | 97 |

Научное издание

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

*Материалы международного симпозиума*

(22 – 26 мая 2017 года, Витебск, Беларусь)

*В двух частях*

Часть 1

Под редакцией члена-корреспондента НАН Беларуси В.В. Рубаника

Оформление и компьютерная верстка: *Баган А.В.*

Подписано в печать 28.04.2017. Печать ризографическая. Гарнитура «Arial».

Усл. печ. л. 20.8. Уч.-изд. л. 34.9. Формат 60х90 1/8. Тираж 160 экз.

Заказ № 150.

---

Выпущено издательским отделом ЦИТ

Витебского государственного технологического университета.

210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,

распространителя печатных изданий № 1/172

от 12 февраля 2014 г.