

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

Голосиенко С. А., Минякин Н. А., Рябов В. В., Семичева Т. Г., Хлусова Е. И. Влияние микролегирования на механические свойства низкоуглеродистой хромоникельмолибденовой стали 7

Коротовская С. В., Сыч О. В., Хлусова Е. И., Яшина Е. А. Исследование рекристаллизационных процессов в низколегированной низкоуглеродистой стали при моделировании высокотемпературной прокатки 15

Бердник О. Б., Царева И. Н., Чегуров М. К. Живучесть материала лопаток турбин при длительных сроках эксплуатации 28

Медведев П. Н., Наприенко С. А., Кашапов О. С., Шпагин А. С., Попов И. П. Исследование неоднородности структуры заготовки титанового сплава ВТ41 после термомеханической обработки 36

Сенникова Л. Ф., Волкова Г. К., Ткаченко В. М. Анализ напряженно-деформированного состояния меди М0Б после равноканального углового прессования и его влияние на структуру и физико-механические свойства 47

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Фармаковский Б. В. Структура и плотности тока плавления литых микропроводов из меди и резистивного сплава на основе никеля в стеклянной изоляции 54

Герашенкова Е. Ю., Бобкова Т. И., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В. Композиционные плакированные порошки для нанесения защитных покрытий 59

Бобкова Т. И., Фармаковский Б. В., Соколова Н. А. Наноструктурированные порошки на основе алюминия, армированные нитридом кремния, для напыления многофункциональных покрытий повышенной твердости 65

Бобкова Т. И., Васильев А. Ф., Прудников И. С., Фармаковский Б. В. Функционально-градиентные покрытия, полученные с помощью сверхзвукового холодного газодинамического напыления 74

Бобкова Т. И., Беляков А. Н., Герашенков Д. А., Герашенкова Е. Ю., Васильев А. Ф., Фармаковский Б. В. Порошковые композиции из сплава системы Al–Zn–Sn для получения функциональных покрытий 79

Юльметова О. С., Послянова О. Н., Щербак А. Г., Жуков М. В. Исследование и разработка технологии лазерного конфигурирования сердечников феррозондовых инклинометров 85

Царева И. Н., Бердник О. Б., Максимов М. В., Разов Е. Н. Эволюция структурно-фазового состояния жаростойкого интерметаллидного покрытия в процессе эксплуатации лопаток турбины 94

Алеутдинова М. И., Фадин В. В., Миронов Ю. П. Характер контактного взаимодействия при сухом скольжении вольфрама по стали под воздействием электрического тока высокой плотности 101

Журавлева О. А., Воейкова Т. А., Булушова Н. В., Вейко В. П., Исмагулова Т. Т., Лупанова Т. Н., Лобастов С. Л., Ретивов В. М., Дебабов В. Г. Биотехнологический способ получения наночастиц сульфидов серебра, кадмия и цинка. Физико-химические свойства. Создание полимерных нанокомпозитов 110

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Яковлев С. Н., Черныш А. А. Экспериментальное исследование виброизоляционных свойств современных конструкционных полиуретанов 120

Ягубов В. С., Щегольков А. В., Щегольков А. В., Меметов Н. Р. Исследование изменения электрического сопротивления эластомеров, модифицированных углеродными нанотрубками, при сжатии, растяжении и кручении 128

Примаченко Б. М., Строкин К. О. Теоретические и экспериментальные исследования композиционных материалов, армированных углеродными тканями. Часть. 4. Механико-аналитическая модель деформации структуры углеродной ткани 139

Амангельдыулы Н., Федоров М. В. Мировые тенденции в области исследований углепластиков 147

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Александров Н. В., Бланк Е. Д., Ерошкин С. Б., Шарпов М. Г. Электронно-лучевая сварка хладостойких сталей больших толщин узлов нефтедобывающих платформ..... 164

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

Курс М. Г., Гончаров А. А. Исследование коррозионного разрушения деформируемых алюминиевых сплавов при натурно-ускоренных испытаниях. Часть 2. Питтинговая коррозия..... 175

ХРОНИКА

Орыщенко А. С., Цуканов В. В., Савичев С. А., Милейковский А. Б., Нигматулин О. Э. Опыт создания гетерогенной брони в СССР в предвоенный период 188

Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов 199

УДК 669.15'26'24'28–194

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ

С. А. ГОЛОСИЕНКО, канд. техн. наук, Н. А. МИНЯКИН, В. В. РЯБОВ, канд. техн. наук,
Т. Г. СЕМИЧЕВА, канд. техн. наук, Е. И. ХЛУСОВА, д-р техн. наук

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru

Поступила в редакцию 23.11.2018

После доработки 24.12.2018

Принята к публикации 24.12.2018

Исследовано влияние микролегирувания ниобием, а также ниобием совместно с ванадием на механические свойства высокопрочной хромоникельмолибденовой стали после термического улучшения. Определены механические свойства стали при варьировании температуры отпуска от 580 до 660°C и его продолжительности от 1 до 16 ч, а также при использовании технологии закалки с прокатного нагрева и отдельного печного нагрева с последующим отпуском. Показано, что после закалки и отпуска в интервале температур 580–660°C высокопрочной стали композиции Cr–Ni–Cu–Mo, легированной 0,02%Nb и 0,07%V, предел текучести ее выше, чем стали, легированной только ниобием (0,05%), при незначительном снижении ударной вязкости и пластичности. Увеличение суммарного содержания основных легирующих элементов не приводит к значимому изменению механических свойств в исследованном интервале температур отпуска. Закалка с прокатного нагрева позволяет повысить прочность стали при сохранении вязкопластических свойств на высоком уровне, причем повышение прочности наиболее заметно для стали, микролегирующей только ниобием.

Ключевые слова: высокопрочная хромоникельмолибденовая сталь, микролегирувание ниобием и ванадием, термическая обработка, механические свойства

ЛИТЕРАТУРА

1. Горынин И. В., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Семичева Т. Г. Теоретические и экспериментальные основы создания вторичнотвердеющих свариваемых конструкционных сталей // МиТОМ. – 1999. – № 3. – С. 8–13.
2. Горынин И. В., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Семичева Т. Г., Шерохина Л. Г. Превращение дислокационного мартенсита при отпуске вторичнотвердеющей стали // МиТОМ. – 1999. – № 3. – С. 13–19.
3. Горынин И. В., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Легостаев Ю. Л., Семичева Т. Г. Основные аспекты создания и применения высокопрочной конструкционной стали // Вопросы материаловедения. – 1999. – № 3. – С. 7–20.
4. Хайстеркамп Ф., Хулка К., Матросов Ю.И., Морозов Ю.Д., Эфрон Л.И., Столяров В.И., Чевская О.Н. Ниобийсодержащие низколегированные стали. – М.: СП Интернет Инжиниринг, 1999. – 94 с.

5. Пышминцев И. Ю., Пумпянский Д. А., Фарбер В. М. Пластичность стали и ее характеристики // МиТОМ. – 2007. – № 11. – С. 20–27.
6. Гольдштейн М. И., Фарбер В. М. Дисперсионное упрочнение стали. – М.: Metallurgia, 1979. – 208 с.
7. Счастливец В. М., Табатчикова Т. И., Яковлева И. Л., Егорова Л. Ю., Ватутин К. А., Круглова А. А., Орлов В. В., Хлусова Е. И. Исследование структуры и свойств низколегированной хладостойкой стали 10ГНБ, произведенной по различным технологическим схемам // Вопросы материаловедения. – 2008. – № 1 (53). – С. 7–20.

УДК 669.15–194.2:621.771.016:620.186.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПРОКАТКИ

С. В. КОРОТОВСКАЯ, канд. техн. наук, О. В. СЫЧ, канд. техн. наук, Е. И. ХЛУСОВА, д-р техн. наук, Е. А. ЯШИНА

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург, Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru

Поступила в редакцию 15.01.2019

После доработки 4.02.2019

Принята к публикации 6.02.2019

Изучены процессы динамической и статической рекристаллизации, протекающие при различных вариантах пластической деформации (схема обжатий, температура деформации) низкоуглеродистой низколегированной стали. Моделирование термомеханической обработки с последующим комплексным анализом микроструктуры выполнено на установке Gleeble 3800. Проведенные исследования позволили выявить термомеханические условия формирования мелкодисперсной однородной структуры стали. В заключение приведены результаты опробования в промышленных условиях разработанных режимов горячей прокатки листового проката.

Ключевые слова: термомеханическая обработка, низкоуглеродистая сталь, рекристаллизация, горячая прокатка, ферритно-бейнитная структура, установка Gleeble

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн М. Л., Займовский В. А., Капуткина Л. М. Термомеханическая обработка стали. – М.: Metallurgia, 1983. – 480 с.
2. Эфрон Л. И., Литвиненко Д. А. Получение высокопрочных свариваемых сталей с бейнитной структурой с применением термомеханической обработки // МиТОМ. – 1994. – № 10. – С. 28–32.
3. From A., Standstrom R. Influence of mixed grain size distribution on the toughness in high and extra high strength steels // Mater. Characterization. – 1999. – № 42. – С. 111–122.
4. Кантор М. М., Воронин В. Н., Боженков В. А., Антонов В. Г., Шарыгин Ю. М. Материаловедческие условия сохранения несущей способности металла магистральных газопроводов при их длительной эксплуатации // Металлы. – № 4. – 2009. – С. 46–56.
5. Орлов В. В. Принципы управляемого создания структурных элементов наноразмерного масштаба в трубных сталях при значительных пластических деформациях // Вопросы материаловедения. – 2011. – № 2(66). – С. 5–17.
6. Счастливец В. М., Табатчикова Т. И., Яковлева И. Л. Исследование структуры и свойств низколегированной хладостойкой стали 10ГНБ, произведенной по различным технологическим схемам производства // Вопросы материаловедения. – 2008. – № 1 (53). – С. 7–19.
7. Fernandez A. I., Uranga P., Lopez B., Rodriguez-Ibabe J. M. Dynamic recrystallization behavior covering a wide austenite grain size range in Nb and Nb–Ti microalloyed steels // Materials Science and Engineering. – 2003. – A 361. – P. 367–376.
8. Perttula J. S., Karjalainen L. P. Recrystallization in austenite measured by double compression and stress relaxation methods // Materials Science Technologies. – 1998. – N 14. – P. 626 – 630.

9. Зисман А. А., Сошина Т. В., Хлусова Е. И. Построение и использование карт структурных изменений при горячей деформации аустенита низкоуглеродистой стали 09ХН2МДФ для оптимизации промышленных технологий // Вопросы материаловедения. – 2013. – № 1 (73). – С. 37–48.
10. Medina S. F. and Hernandez C. A. Modeling of the Dynamic Recrystallization of Austenite in Low Alloy and Micro-alloyed Steels // Acta Materialia. – 1996. – V. 44, N 1. – P. 155–163.
11. EBSD and reconstruction of pretransformation microstructures, examples and complexities in steels / Majid Abbasi et al // Materials Characterization. – 2014. – N 95. – P. 219–231.
12. Medina S. F., Quispe, Valles P. and Banos J. L. Recrystallization-Precipitation Interaction Study of Two Medium Carbon Niobium Micro-alloyed Steels // ISIJ International. – 1999. – V. 39, N 9.
13. Sun W. P., Militzer M., Bai D. Q., Jonas J. J. Measurement and Modelling of the Effects of Precipitation on Recrystallization Under Multipass Deformation Conditions // Acta Materialia. – 1993. – V. 41, N 12.

УДК 669.245.018.4:539.4:621.438–226.2

ЖИВУЧЕСТЬ МАТЕРИАЛА ЛОПАТОК ТУРБИН ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ СРОКАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

О. Б. БЕРДНИК¹, канд. техн. наук, И. Н. ЦАРЕВА¹, канд. физ.-мат. наук,
М. К. ЧЕГУРОВ², канд. техн. наук

¹ *Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН», 603024, Нижний Новгород, ул. Белинского, 85,
E-mail: imsh@sinn.ru*

² *ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. П. Е. Алексеева», 603024, Нижний Новгород, ул. Минина, 24, корп. 1*

Поступила в редакцию 23.10.2018
После рецензирования 12.11.2018
Принята к публикации 19.11.2018

Рассмотрены особенности структуры и характерные изменения механических свойств металла рабочих лопаток 4-й ступени турбины ГТЭ-45-3 после эксплуатации в реальных условиях с наработкой от 13 000 до 100 000 ч. Для исследования изменения состояния материала при разных наработках, определения степени влияния термической обработки на регенерацию микроструктуры и восстановление механических свойств сплава после разных сроков эксплуатации использованы нестандартные методы – релаксационные испытания на миниатюрных образцах для определения физического предела текучести, предела микропластичности и количественная оценка коэффициента пластичности материала по экспериментальным значениям твердости. Эти методы позволяют выявить изменения, происходящие в микрообъемах материала и прогнозировать работоспособность изделия в целом.

Ключевые слова: рабочие лопатки турбины, жаропрочный никелевый сплав, термическая обработка, микроструктура, карбидная фаза, механические характеристики, физический предел текучести, предел микропластичности, твердость, коэффициент пластичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tsareva I. N., Berdnik O. B., Krivina L. A., Tarasenko Yu. P. Development of a modern comprehensive technology for extending the life of turbine blades of SGT Siemens power plants and alike // MATEC Web of Conferences ICMTMTE 2018. – 224, 01023, 2018.
2. Tarasenko Y. P., Berdnik O. B., Tsareva I. N., Kazanskii D. A. The analysis of the main structural and mechanical characteristics of EP800 and EI893 alloys to optimize production of the first stage of a GTE-45-3 gas-turbine power plant // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2016. – V. 45. – P. 83–89.
3. Скуднов В. А., Чегуров М. К. Релаксация напряжений в металлах и сплавах. Метод. пособие. НГТУ. – Н. Новгород, 2010. – 30 с.
4. Мильман Ю. В., Голованов Б. А., Чугунова С. И. Характеристики пластичности, получаемые при измерении твердости. – Киев, 1992. – 25 с.

5. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд. доп. и испр. / А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский и др. / Под общей ред. А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

6. Патент РФ 2204817. Способ определения технического состояния материалов элементов конструкции / Чувильдеев В. Н., Мадянов С. А. Краев А. П. Нохрин А. В. Мельников Г. Ю. Грунтенко Г. С. Никитюк В. М. <http://www.findpatent.ru/patent/220/2204817.html>

УДК 669.295.017:621.789

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ ЗАГОТОВКИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ41 ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

П. Н. МЕДВЕДЕВ¹, канд. физ.-мат. наук, С. А. НАПРИЕНКО¹, О. С. КАШАПОВ¹, канд. техн. наук, А. С. ШПАГИН¹, И. П. ПОПОВ², д-р техн. наук

¹ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), 105005, Москва, ул. Радио, д. 17, E-mail: admin@viam.ru

²ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С. П. Королева» (Самарский университет), 443086, Самара, ул. академика Павлова, 1

Поступила в редакцию 28.12.2018

После доработки 1.03.2019

Принята к публикации 5.03.2019

Исследована неоднородность структурного состояния псевдо- α -сплава титана ВТ41 после горячей осадки. Проведен анализ распределения деформации при осадке и особенности формирования каждой из структурных составляющих образца. Глобулярные зерна деформировались по механизму межзеренного проскальзывания. Наибольший вклад в пластическую деформацию внесли β -зерна и α -пластинки. Пластинчатые зерна α -фазы в зоне локализации деформации претерпели рекристаллизацию. Размер зоны, в которой произошла рекристаллизация, совпадает с зоной локализации деформации, оцененной по макроструктуре. При закалке заготовки β -фаза в центре образца распадается на α -пластинки, а в приповерхностных областях – на более мелкие зерна, представляющие, вероятно, игольчатый мартенсит α -титана. Снижение микротвердости в центральных областях может быть обусловлено как прохождением рекристаллизации, так и тем, что поверхностные слои подверглись закалке на мартенсит.

Ключевые слова: титановые сплавы, деформация, рекристаллизация, металлография, РЭМ

ЛИТЕРАТУРА

1. Полуфабрикаты из титановых сплавов / В. К. Александров, Н. Ф. Аношкин, Г. А. Бочвар и др. – М.: Металлургия, 1979. – 512 с.

2. Солонина О. П., Глазунов С.Г. Жаропрочные титановые сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 448 с.

3. Аношкин Н. Ф., Брун М. Я., Шаханова Г. В. Требования к бимодальной структуре с оптимальным комплексом механических свойств и режимы ее получения // Титан. – 1998. – № 1 (10). – С. 35–41.

4. Кашапов О. С., Павлова Т. В., Калашников В. С., Заводов А. В. Влияние условий охлаждения крупных промышленных поковок из жаропрочного титанового сплава ВТ41 на фазовый состав и механические свойства // Цветные металлы. – 2018. – № 2. – С. 76–82. DOI: 10.17580/tsm.2018.02.10.

5. Moiseyev V. N. Advances in metallic alloys // Titanium alloys. Russian Aircraft and Aerospace applications / A series edited by J. N. Fridlander, D. G. Eskin. V. 5. – Taylor & Francis Group, 2006. – 214 p.

6. Suwas S., Singh A.K. Textural changes during $\beta \rightarrow \alpha$ and $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ transformations in a Near- α -Titanium Alloy // Metallurgical and materials transactions. – 2004. – V. 35A. – P. 925–938. DOI: 10.1007/s11661-004-0017-8.

7. Structure and mechanical properties of Ti–6Al–4V alloy after zirconium addition / R. Jing, S. X. Liang, C. Y. Liu e. a. // Materials Science and Engineering: A. – 2012. – V. 552. – P. 295–300. DOI: 10.1016/j.msea.2012.05.043.

8. Fu B., Wang H, Zou C., Wei Z. The influence of Zr content on microstructure and precipitation of silicide in as-cast near α titanium alloys // *Materials Characterization*. – 2015. – V. 99. – P. 17–24. DOI: 10.1016/j.matchar.2014.09.015.
9. Ahmed T., Rack H. J. Phase transformations during cooling in (α + β) titanium alloys // *Materials Science and Engineering A*. 1998. Vol. 243 P. 206–211. DOI: 10.1016/j.matchar.2016.05.020.
10. Zhang X. D., Evans D. J., Baeslack W. A., Fraser H.L. Effect of long term aging on the microstructural stability and mechanical properties of Ti-6Al-2Cr-2Mo-2Sn-2Zr alloy // *Materials Science and Engineering*. – 2003. – A344. – P. 300–311.
11. Transformation kinetics and microstructures of Ti17 titanium alloy during continuous cooling / J. Da Costa Teixeira, B. Appolaire, E. Aebly-Gautier et al. // *Materials Science and Engineering A*. – 2007. – V. 448. – P. 135–145. DOI: 10.1016/j.msea.2006.10.024.
12. Lutjering G., Williams J. C. *Titanium*. 2nd edition. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003, 2007. – 449 p.
13. Sauer C., Lutjering G. Influence of layers at grain boundaries on mechanical properties of Ti-alloys // *Materials Science and Engineering*. – 2001. – A319–321. – P. 393–397.
14. Es-Souni M. Creep behaviour and creep microstructures of a high-temperature titanium alloy Ti-5.8Al-4.0Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.35Si-0.06C // *Timetal 834*. Part I. Primary and steady-state creep. *Materials Characterization*. – 2001. – V. 46. – P. 365–379.
15. Davies P., Pederson R., Coleman M., Biroasca S. The hierarchy of microstructure parameters affecting the tensile ductility in centrifugally cast and forged Ti-834 alloy during high temperature exposure in air // *Acta Materialia*. – 2016. – V. 117. – P. 51–67.
16. Кашапов О. С., Павлова Т. В., Калашников В. С., Кондратьева А. Р. Исследование влияния режимов термической обработки на структуру и свойства опытных поковок из сплава ВТ41 с мелкозернистой структурой // *Авиационные материалы и технологии*. – 2017. – № 3 (48) . – С. 3–9. DOI: 10/18577/2071-9140-2017-0-3-3-7.
17. Russo P. A., Yu K. O. Effect of Ni, Fe, and primary alpha on the creep of alpha-beta processed and annealed Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.09Si // *Titanium-99*. Science and technology, 1999. – P. 596–603.
18. Welk B. A. *Microstructural and Property Relationships in Titanium Alloy Ti-5553* // Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science in the Graduate School of The Ohio State University. The Ohio State University, 2010. – 88 p.
19. Zeng W. D., Zhou Y. G. The influence of microstructure on dwell sensitive fatigue in Ti-6.5Al-3.5Mo-1.5Zr-0.3Si alloy // *Materials Science and Engineering*. – 2000. – N A290. – P. 33–38.
20. Горбовец М. А., Ночовная Н. А. Влияние микроструктуры и фазового состава жаропрочных титановых сплавов на скорость роста трещины усталости // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.*, 2016. №4. Ст.03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 03.12.2018). DOI:10/18577/2307-6046-2016-0-4-3-3.
21. Захарова Л. В. Влияние химического состава, термической обработки и структуры на стойкость титановых сплавов к растрескиванию от горячесолевой коррозии // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2016. – № 9. Ст.11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 03.12.2018). DOI: 10/18577/2307-6046-2016-0-9-11-11.
22. Орлов М. Р., Наприенко С. А. Разрушение двухфазных титановых сплавов в морской воде // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2017. – № 1. Ст.10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 03.12.2018). DOI: 10/18577/2307-6046-2017-0-1-10-10.
23. Kablov E. N., Kovalev I. E., Zhemanyuk P. D., Tkachenko V. V., Voitenko S. A., Pirogov L. A., Banas F. P., Kovalev A. E. Efficiency of surface cold-work hardening of titanium alloys having different phase composition // *Fifth international conference on computer methods and experimental measurements for surface treatment effects, Surface Treatment V*. Сер. "Surface Treatment V: Computer methods and Experimental Measurements". Seville, 2001. – P. 23–32.
24. Каблов Е. Н., Кашапов О. С., Павлова Т. В., Ночовная Н. А. Разработка опытно-промышленной технологии изготовления полуфабрикатов из псевдо- α -титанового сплава ВТ41 // *Титан*. – 2016. – № 2 (52). – С. 33–42.

25. Sun Z., Li X., Wu H., Yang H. Morphology evolution and growth mechanism of the secondary Widmanstätten β phase in the TA15 Ti-alloy // *Materials Characterization*. – 2016. – V. 118. – P. 167–174.

26. Каблов Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – № 5. – С. 7–17.

УДК 669.3:621.777

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕДИ М0Б ПОСЛЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Л. Ф. СЕННИКОВА, канд. техн. наук, Г. К. ВОЛКОВА, В. М. ТКАЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук

*Донецкий физико-технический институт им. А. А. Галкина, 83114, Донецк, Украина,
ул. Розы Люксембург, 72, E-mail: sennikova_lf@ukr.net*

Поступила в редакцию 17.10.2018

После доработки 16.01.2019

Принята к публикации 6.02.2019

Представлены результаты исследований напряженно-деформированного состояния меди М0б после деформации методом равноканального углового прессования (РКУП). Определен уровень макро- и микронапряжений в меди после РКУП по разным режимам. Показано различие в зависимости от схемы нагружения прочностных свойств, деформационной пористости и параметров тонкой структуры меди.

Ключевые слова: медь М0б, равноканальное угловое прессование, напряженно-деформированное состояние, макро- и микронапряжения, медь, твердость, деформационная пористость, тонкая структура

ЛИТЕРАТУРА

1. Валиев В. З., Александров И. В.. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.

2. Рыбин В. В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 223 с.

3. Черемской П. Г., Слезов В. В., Бетехтин В. И. Поры в твердом теле. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 376 с.

4. Уманский Я. С., Скаков Ю. А., Иванов А. Н., Расторгуев Л. Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. – М.: Металлургия, 1982. – 631 с.

5. Русаков А. А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 479 с.

6. Сенникова Л. Ф., Давиденко А. А., Ткаченко В. М., Метлов Л. С. Влияние больших пластических деформаций на структуру и свойства меди М0б // *Вопросы материаловедения*. – 2017. – № 1 (89). – С. 92–98.

7. Chen C., Beygelzimer Y., Toth L. S., Estrin Yu., Kulagin R. Tensile yield strength of a material pre-processed by simple shear // *J. Eng. Mater. Technol.* – 2016. – V. 138 (3). – P. 031010.

8. Васильев Д. М. Дифракционные методы исследования структур. – СПб., 1998. – 502 с.

УДК 621.74:621.315.3

СТРУКТУРА И ПЛОТНОСТИ ТОКА ПЛАВЛЕНИЯ ЛИТЫХ МИКРОПРОВОДОВ ИЗ МЕДИ И РЕЗИСТИВНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ В СТЕКЛЯННОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук

*НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru*

Поступила в редакцию 28.09.2018

После доработки 9.10.2018
Принята к публикации 2.11.2018

Приведены результаты испытания литых микропроводов в стеклянной изоляции на плотность тока, приводящую к плавлению металлической жилы, а также исследована их структура. Получены высокие значения плотности токов плавления, что позволяет рекомендовать литые микропровода для использования в качестве малобазных предохранителей от токовых перегрузок в электротехнических схемах.

Ключевые слова: литой микропровод в стеклянной изоляции, плотность тока плавления, электросопротивление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литой микропровод и его свойства / Е. Я. Бадинтер и др. – Кишинев: Штиинца, 1973.
2. Алферов Ж. И., Белый О. В., Двас Г. В., Иванова Е. А. Перспективные направления науки в Санкт-Петербурге. – СПб.: ИП Пермяков С.А., 2015. – С. 137–163.
3. Масайло Д. В., Смелов А. И., Песков Т. В., Фармаковский Б. В. Разработка тензо- и терморезистивных сплавов для литья микропроводов // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 3(79). – С. 73–78.
4. Патент РФ № 2424349. Аморфный сплав на основе никеля для литья микропроводов / Фармаковский Б. В., Васильев А. Ф., Коркина М. А., Кузьмин К. А., Тараканова Т. А., Земляницын Е. Ю., 2011.
5. Васильчук В. К. Измерение параметров термопреобразователей с помощью установки У362М11. Точные измерения энергетических величин: переменного тока, напряжения, мощности, энергии и угла сдвига фаз // Сб. докл. на Всесоюз. совещании. – Л., 1982. – С. 67–70.
6. Солнцев Ю. П., Пирайнен В. Ю., Вологжанина С. А. Металловедение специальных отраслей машиностроения: Учебное пособие. – СПб.: Химиздат, 2007. – 784 с.
7. Горынин И. В., Фармаковский Б. В. Длинномерные литые микропровода в стеклянной изоляции с жилкой из интерметаллических соединений // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 4(84). – С. 58–61.
8. Мясоедов Б. Ф. Умные материалы и перспективы их развития // Материалы 7-й Всероссийской научной конференции «Технологии и материалы для экстремальных условий». Туапсе, 15–22 сентября 2012 г. – С. 2–4.

УДК 621.762.2:621.793.7

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПЛАКИРОВАННЫЕ ПОРОШКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Е. Ю. ГЕРАЩЕНКОВА, Т. И. БОБКОВА, канд. техн. наук, Е. А. САМОДЕЛКИН,
Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук

*НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru*

Поступила в редакцию 4.10.2018

После доработки 22.10.2018

Принята к публикации 29.10.2018

Приведены результаты исследований по разработке технологии получения плакированных и поверхностно легированных порошковых материалов методом высокоскоростного механосинтеза в дезинтеграторной установке матричных порошков фехраля и твердых наноразмерных частиц карбида вольфрама в присутствии активной газовой фазы (азота).

Ключевые слова: порошковые материалы, плакирование, поверхностное легирование, высокоскоростной механосинтез, наноразмерные частицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алферов Ж. И., Белый О. В., Двас Г. В., Иванова Е. А. Перспективные направления науки в Санкт-Петербурге. – СПб.: ИП Пермяков С.А., 2015. – С. 137–163.

2. Патент RU2460815. Способ получения композиционного порошкового материала системы металл - керамика износостойкого класса / Коркина М. А., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А., Бурканова Е. Ю. Оpubл. 10.09.2012.

3. Кузнецов П. А., Фармаковский Б. В. Методы получения наноматериалов // Материалы для морской техники. Т.2. – СПб.: Изд-во НПО «Профессионал», 2010. – С. 301–306.

4. Патент RU 2561615. Способ получения композиционного плакированного порошка для нанесения покрытий / Фармаковский Б. В., Климов В. Н., Самоделкин Е. А., Юрков М. А., Геращенко Е. Ю., Низкая А. В., Ешметьева. Е. Н. Оpubл. 27.08.2015.

5. Бобкова Т. И. Разработка материалов и технологии получения износостойких градиентных покрытий на базе наноструктурированных композиционных порошков / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб, 2017.

6. Патент на изобретение № 2551037. Способ получения износ-коррозионно-стойкого градиентного покрытия / Бобкова Т. И., Прудников И. С., Фармаковская А. Я., Васильев А. Ф., Фармаковский Б. В. Оpubл. 20.05.2016.

УДК 621.762:669.718: 621.793.7

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПОРОШКИ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ, АРМИРОВАННЫЕ НИТРИДОМ КРЕМНИЯ, ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОВЫШЕННОЙ ТВЕРДОСТИ

Т. И. БОБКОВА, канд. техн. наук, Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук, Н. А. СОКОЛОВА

*НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru*

Поступила в редакцию 8.10.2018

После доработки 22.10.2018

Принята к публикации 29.10.2018

Работа посвящена актуальному вопросу – разработке композиционных наноструктурированных порошковых материалов. Представлены результаты исследований по созданию порошков на основе системы алюминий – нитрид кремния. Проведены комплексные исследования состава, структуры и свойств порошковых материалов, а также покрытий на их основе, сформированных сверхзвуковым холодным газодинамическим напылением. Обнаружено, что высокоэнергетическая обработка порошковой смеси алюминия с нановолокнами нитрида кремния обеспечивает формирование композиционного порошка с образованием новой фазы типа $Si_{(1-x)}Al_xO_{(1-x)}N_x$, которая дополнительно повышает твердость напыляемых покрытий.

Ключевые слова: композиционные материалы, наноструктурированные порошки, сверхзвуковое холодное газодинамическое напыление, композиционные покрытия, алюминиевые покрытия

ЛИТЕРАТУРА

1. Рогов В. А., Соловьев В. В., Копылов В. В. Новые материалы в машиностроении: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 324 с.

2. Геращенко Д. А., Фармаковский Б. В., Самоделкин Е. А., Геращенко Е. Ю. Исследование адгезионной прочности композиционных армированных покрытий системы металл – неметалл, полученных методом холодного газодинамического напыления // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 2 (78). – С. 103–117.

3. Перспективные направления развития науки в Петербурге / Отв. ред. Ж. И. Алферов, О. В. Белый, Г. В. Двас, Е. А. Иванова. – СПб.: Изд-во ИП Пермяков С.А., 2015. – С. 137–163.

4. Бобкова Т. И., Деев А. А., Быстров Р. Ю., Фармаковский Б. В. Нанесение износостойких покрытий с регулируемой твердостью с помощью сверхзвукового холодного газодинамического напыления // Металлообработка. – 2012. – № 5. – С. 45–49.

5. Бобкова Т. И., Фармаковский Б. В., Богданов С. П. Создание композиционных наноструктурированных поверхностно-армированных порошковых материалов на основе систем Ti/WC и Ti/TiCN для напыления покрытий повышенной твердости // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 3(83). – С. 80–90.

6. Саалиева Н. Дж., Энгельшт В. С., Макаров В. П. Термическое разложение нитрида кремния в атмосфере азота // Вестник КРСУ. – 2003. – Т. 3, № 5. Art. 06. URL: <https://www.krsu.edu.kg/vestnik/2003/v5/a06.html>

7. Горынин И. В., Рыбин В. В., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А., Бахарева В. А. Наноматериалы конструкционного и функционального класса // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 1 (45). – С. 169–178.

8. Скворцова А. Н., Толочко О. В., Бобкова Т. И., Васильева Е. А., Старицын М. В. Исследование влияния технологических параметров метода холодного газодинамического напыления на износостойкость покрытия алюминий – углеродные нановолокна // Вопросы материаловедения. – 2018. – № 1(93). – С. 126–136.

9. Гоголинский К. В., Львова Н. А., Усеинов А. С. Применение сканирующих зондовых микроскопов и нанотвердомеров для изучения механических свойств твердых материалов на наноразмере (обобщающая статья) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – № 6, т. 73. – С. 28–36.

10. Климов В. Н., Ковалева А. А., Бобкова Т. И., Деев А. А., Черныш А. А., Юрков М. А. Структура и свойства бронзового покрытия, полученного газодинамическим и микроплазменным напылением // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 2 (86). – С. 57–68.

11. Бобкова Т. И. Разработка материалов и технологии получения износостойких градиентных покрытий на базе наноструктурированных композиционных порошков // Автореф. дис. ... канд. техн. наук, СПб., 2017. – 28 с.

УДК 621.793.7

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ СВЕРХЗВУКОВОГО ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Т. И. БОБКОВА, канд. техн. наук, А. Ф. ВАСИЛЬЕВ, И. С. ПРУДНИКОВ,
Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук

*НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru*

Поступила в редакцию 1.11.2018

После доработки 12.11.2018

Принята к публикации 19.11.2018

Приведены результаты исследований по разработке технологии получения износостойкого функционально-градиентного покрытия путем вариации состава газовой фазы в гетерофазном потоке при сверхзвуковом холодном газодинамическом напылении. Покрытие имеет высокую микротвердость (до 12 ГПа) на периферийных слоях, и его износостойкость в 3 раза выше, чем покрытий, полученных по традиционной технологии.

Ключевые слова: защитное покрытие, функционально-градиентное покрытие, микротвердость, износостойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов П. А., Фармаковский Б. В. Методы получения наноматериалов: Справочник // Материалы для морской техники. – 2010. – Т. 2. – С. 301–306.

2. Бобкова Т. И., Деев А. А., Быстров Р. Ю., Фармаковский Б. В. Нанесение износостойких покрытий с регулируемой твердостью с помощью сверхзвукового холодного газодинамического напыления // Металлообработка. – 2012. – № 5–6. – С. 45–49.

3. Патент РФ № RU2285746. Способ нанесения функциональных покрытий с высокими адгезивными свойствами / Фармаковский Б. В. Джурицкий Д. В. Васильев А. Ф.

4. Геращенко Д. А., Васильев А. Ф., Фармаковский Б. В., Машек А. Ч. Исследование температуры потока в процессе холодного газодинамического напыления функциональных покрытий // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 1(77). – С. 87–96.

5. Геращенко Д. А., Фармаковский Б. В. Самоделкин Е. А., Геращенко Е. Ю. Исследование адгезионной прочности композиционных армированных покрытий системы металл – неметалл,

полученных методом холодного газодинамического напыления // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 2(78). – С. 103–117.

6. Геращенко Д. А. Разработка технологического процесса нанесения покрытий методом «холодного» газодинамического напыления на основе армированных порошков системы Al – Sn+Al₂O₃. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб – 2015.

7. Бурканова Е. Ю., Фармаковский Б. В. Высокоскоростной механосинтез с использованием дезинтеграторных установок для получения наноструктурированных порошковых материалов системы металл-керамика износостойкого класса // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 1. – С. 80–85.

8. Бобкова Т. И. Разработка материалов и технологии получения износостойких градиентных покрытий на базе наноструктурированных композиционных порошков // Автореф. дис. ... канд. техн. наук, СПб., 2017. – 28 с.

УДК 621.762:669.718:621.793.7

ПОРОШКОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al–Zn–Sn ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Т. И. БОБКОВА, канд. техн. наук, А. Н. БЕЛЯКОВ, Д. А. ГЕРАЩЕНКОВ, канд. техн. наук,
Е. Ю. ГЕРАЩЕНКОВА, А. Ф. ВАСИЛЬЕВ, Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук

*НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru*

Поступила в редакцию 2.11.2018

После доработки 8.11.2018

Принята к публикации 12.11.2018

Исследованы особенности процесса получения порошковой композиции из сплава на основе системы Al–Zn–Sn. Разработана технология получения порошков оптимального состава, включающего Al; 6–11%Zn; 6–11%Sn; 2–4%Si; 0,6–0,8%Ce. Из полученных порошков с использованием метода сверхзвукового холодного газодинамического напыления были изготовлены функциональные износостойкие покрытия, рекомендуемые для практического использования в изделиях прецизионного и энергетического машиностроения.

Ключевые слова: функциональные покрытия, порошковая композиция, система Al–Zn–Sn, сверхзвуковое холодное газодинамическое напыление, износостойкость, микротвердость, пористость

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферов В. Н., Бобров Г. В., Дружинин Л. К. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.

2. Патент RU 2039125. Композиционный порошок для напыления покрытий / В. М. Валитова, Д. Д. Афоничев, Э. Ф. Хайретдинов.

3. Волков В. А., Елькин И. А., Загайнов А. В., Протасов А. В., Елсуков Е. П. Динамическое равновесие фаз в процессах механосинтеза сплава состава Fe_{72,6}C_{24,5}O_{1,1}N_{1,8} // Физика металлов и материаловедение. – 2014. – Т. 115, № 6. – С. 593–601.

4. Патент RU 2413024 Сплавы на основе алюминия / Д. А. Геращенко, Б. В. Фармаковский, А. Ф. Васильев, Е. А. Сомкова, Р. Ю. Быстров.

5. Геращенко Д. А., Фармаковский Б. В., Самоделкин Е. А., Геращенко Е. Ю. Исследование адгезионной прочности композиционных армированных покрытий системы металл – неметалл, полученных методом «холодного» газодинамического напыления // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 2(78). – С. 103–117.

6. Доспехи для Бурана. Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия-Буран» / Под общ. ред. акад. РАН Е.Н. Каблова. – М.: Наука и жизнь, 2013. – 128 с.

7. Геращенко Д. А. Разработка технологического процесса нанесения покрытий методом «холодного» газодинамического напыления на основе армированных порошков системы Al – Sn + Al₂O₃// Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2015.

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО КОНФИГУРИРОВАНИЯ
СЕРДЕЧНИКОВ ФЕРРОЗОНДОВЫХ ИНКЛИНОМЕТРОВ**

О. С. ЮЛЬМЕТОВА^{1,2}, канд. техн. наук, О. Н. ПОСЛЯНОВА^{2,1}, А. Г. ЩЕРБАК¹, д-р техн. наук,
М. В. ЖУКОВ^{3,2}, канд. техн. наук

¹ АО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30,
E-mail: office@eprib.ru

² ФГАОУ ВО НИУ ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

³ ФГБУН «Институт аналитического приборостроения РАН, 190103 Санкт-Петербург,
Рижский пр., 26

Поступила в редакцию 6.11.2018

После научного редактирования 26.11.2018

Принята к публикации 26.11.2018

Представлены результаты термодинамических расчетов окислительных процессов, протекающих в ленте магнитного сплава 71КНСР при лазерной обработке на воздухе и в среде аргона. Кинетическая оценка скоростей протекания реакций осуществлена на основе уравнения Аррениуса. Результаты аналитических расчетов свидетельствуют о том, что снижение уровня магнитных свойств сплава, подвергнутого лазерной обработке в воздушной среде, в большей степени определяется формированием оксидов железа Fe_2O_3 и Fe_2O_4 . Химический элементный анализ состава образцов после лазерного конфигурирования в среде аргона выявил, что содержание в их составе кислорода значительно меньше, чем в образцах, подвергнутых конфигурированию на воздухе. Анализ образцов с помощью сканирующей электронной и магнитно-силовой микроскопии подтвердил сохранность магнитных свойств после обработки в среде аргона. Разработанная технология применяется для изготовления чувствительного элемента феррозондового инклинометра.

Ключевые слова: лазерная резка, аморфная магниточувствительная лента, магнитометр, термодинамический анализ и кинетическая оценка химических взаимодействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2291294. Феррозондовый скважинный инклинометр / Я. И. Биндер, Г. Б. Вольфсон, П. М. Гаспаров, А. А. Геркус, А. Л. Гутников, П. А. Ключкин, Т. В. Падерина, В. Г. Розенцвейн. Оpubл. 10.01.2007 // Бюл. № 1. – 2007.
2. Патент РФ № 2330303. Феррозондовый магнитометр / П. А. Ключкин, П. М. Гаспаров, В. Н. Синеца, А. В. Желтаков, Л. Р. Васильева. Оpubл. 27.07.2008 // Бюл. № 21. – 2008.
3. Власкин К. И. Разработка электромагнитных систем малогабаритных первичных преобразователей феррозондового типа // Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13. – Уфа, 2016.
4. Rodrigues G. C., Vorkov V., Duflo J. R. Optimal laser beam configurations for laser cutting of metal sheets // Procedia CIRP. – 2018. – Т. 74. – Р. 714–718.
5. Wang Y. C., Luo X. M., Chen L. J., Yang H. W., Zhang G. P. Enhancement of shear stability of a Fe-based amorphous alloy using electrodeposited Ni layers // Journal of Materials Science & Technology. – 2018. – V 34, N 12. – P. 2283–2289
6. Guo L. Y., Geng S. N., Pang J., Hu Y. H., Lan S., Wang C. M., Wang W. M. Structural transformation and property improvement of Fe78Si9B13 amorphous ribbon by pulsed laser processing // Materials & Design. – 2018. – V. 160. – P. 538–548
7. Yulmetova O. S., Scherbak A. G., Composition analysis of thin films formed on beryllium surfaces under pulsed laser action by the method of chemical thermodynamics // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2018. – V. 97. – P. 3231–3236
8. Scherbak A. G., Yulmetova O. S. Contrast image formation based on thermodynamics approach and surface laser oxidation for optoelectronic read-out system // Optics and laser technology. – 2018. – V. 101. – P. 242–247.
9. Gibbs J. W., Bumstead H. A., Van Name R. G., Longley W. R. The Collected Works of J. Willard Gibbs: In two volumes. – Longmans, Green and Co., 1928.

10. Laidler K. J. The development of the Arrhenius equation // Journal of Chemical Education. – 1984. – N 61 (6). – С. 494.
11. Термические константы веществ. Вып. VII, Т. 2 / Под ред. В. П. Глушко. – М.: АН СССР, ВИНТИ, 1974. – 343 с.
12. Коган Я. Д., Колачев Б. А., Левинский Ю. В., Назимов О. П., Фишгоит А. В. Константы взаимодействия металлов с газами: Справочное издание. – М.: Metallurgia. 1987. – 368 с.
13. Нечаев В. В. Основы прикладной термодинамики. Фазовые равновесия: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2002. – 128 с.
14. Martin Y., Wickramasinghe H. K. Magnetic imaging by "force microscopy" with 1000-Å resolution // Appl. Phys. Lett. – 1987. – V. 50(20). – P. 1455–1457.
15. Sader J. E., Larson I., Mulvaney P., White L. R. Method for calibration of atomic force microscope cantilevers // Rev. Sci. Instrum. – 1995. – V. 66. – P. 3789–3498.

УДК 621.793.7:669.017.165:669.018.44:621.438–226.2

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ЖАРСТОЙКОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ

И. Н. ЦАРЕВА, канд. физ.-мат. наук, О. Б. БЕРДНИК, канд. техн. наук, М. В. МАКСИМОВ,
Е. Н. РАЗОВ

*Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр Институт прикладной физики РАН», 603024, Нижний Новгород, ул. Белинского, 85,
E-mail: imsh@sinn.ru*

Поступила в редакцию 3.12.2018
После рецензирования 18.12.2018
Принята к публикации 18.12.2018

Для решения важной проблемы отечественного машиностроения, а именно, повышения ресурса длинноразмерных лопаток турбин энергетических газотурбинных установок, эксплуатируемых на тепловых электростанциях, было разработано жаростойкое покрытие системы Ni–Co–Cr–Al–Y с интерметаллидным фазовым составом (β -NiAl + γ' -Ni₃Al). Покрытие было нанесено методом высокоэнергетического плазменного порошкового напыления и предназначено для защиты рабочей поверхности лопаток от высокотемпературного и эрозионного воздействия газового потока. Приведены результаты исследований микроструктуры и фазового состава покрытия в исходном состоянии, после лабораторных испытаний жаростойкости и в постэксплуатационном состоянии (с наработкой ~29 000 ч в реальных условиях эксплуатации газотурбинного двигателя энергетической установки ГТЭ-45-3 на тепловой электростанции). После длительной эксплуатации установлено уменьшение содержания интерметаллидной фазы β -NiAl в фазовом составе, увеличение размера пор и снижение твердости покрытия. При этом сохраняются эрозионная стойкость и жаростойкие свойства покрытия, имеется достаточный ресурс долговечности.

Ключевые слова: жаростойкое покрытие, рабочие и направляющие лопатки турбин, энергетическая установка, высокоэнергетическое плазменное напыление, порошковая смесь, интерметаллидные фазы, твердость, пористость

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдаев Л. Х. Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. – М.: Изд-во ХХТ, 2004. – 34 с.
2. Кузьмин В. И., Картаев Е. В., Ващенко С. П., Сергачев Д. В., Корниенко Е. Е. Повышение эффективности плазменного напыления порошковых покрытий // Вестник Югорского государственного университета. – 2014. – № 2. – С. 7–14.
3. Тарасенко Ю. П., Царева И. Н., Бердник О. Б., Фель Я. А., Кузьмин В. И., Михальченко А. А., Картаев Е. В. Структура и физико-механические свойства жаростойкого интерметаллидного покрытия Ni–Co–Cr–Al–Y, полученного на модернизированном плазменном оборудовании // Теплофизика и аэромеханика. – 2014. – Т. 21, № 5 – С. 671–680.
4. Структура и свойства интерметаллидных материалов с нанофазным упрочнением / Ю. Р. Колобов, Е. Н. Каблов, Э. В. Козлов и др. – М., 2008. – 327 с.

ХАРАКТЕР КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ СУХОМ СКОЛЬЖЕНИИ ВОЛЬФРАМА ПО СТАЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

М. И. АЛЕУТДИНОВА, канд. техн. наук, В. В. ФАДИН, канд. техн. наук,
Ю. П. МИРОНОВ, канд. физ.-мат. наук

ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения» СО РАН, 634056, Томск,
Академический пр., 2/4, E-mail: aleut@ispms.ru

Поступила в редакцию 25.01.2019

После доработки 27.02.2019

Принята к публикации 1.03.2019

Исследован механизм контактного взаимодействия при сухом скольжении вольфрама по стали под воздействием электрического тока высокой плотности. Было показано, что вольфрам вызывает сильный износ контртела из закаленной стали за счет неограниченного пластического течения поверхностного слоя стали при плотности тока до 150 A/cm^2 . Это указывает на невозможность достижения удовлетворительных характеристик такого контакта. Низкие электропроводность и износостойкость контакта вольфрам/сталь были представлены в сравнении с известными высокими характеристиками контакта медь/сталь в этих же условиях.

Данные рентгеновского фазового анализа поверхности скольжения стального контртела позволили утверждать, что причиной неудовлетворительного скольжения вольфрама было отсутствие необходимой концентрации оксида FeO на поверхности скольжения стали.

Ключевые слова: электрического тока высокой плотности, контактного взаимодействия при сухом скольжении,

ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б. И., Носовский Н. Г., Караулов А. К. Поверхностная прочность металлов при трении. – Киев: Техника, 1976. – 292 с.
2. Тушинский Л. И. Оптимизация структуры для повышения износостойкости сплавов // Физика износостойкости поверхности металлов: Сб. научных трудов. – Л.: ЛФТИ АН СССР, 1988. – С. 42–55.
3. Алеутдинова М. И., Фадин В. В. Износостойкость углеродистых сталей под воздействием трения и электрического тока высокой плотности // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 3(83). – С. 47–53.
4. Aleutdinova M. I., Fadin V. V., Kolubaev A. V., Aleutdinova V. A. Contact Characteristics of Metallic Materials in Conditions of Heavy Loading by Friction or by Electric Current // Friction and Wear Research (FWR). – 2014. – N 2. – P. 22–28.
5. Хольм Р. Электрические контакты / Пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1961. – 464 с.
6. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский, Ю. А. Скаков и др. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
7. Senouci A., Zaidi H., Frene J., Bouchoucha A., Paulmier D. Damage of surfaces in sliding electrical contact copper/steel // Applied Surface Science. – 1999. – V. 144–145. – P. 287–291.
8. Bouchoucha A., Zaidi H., Kadiri E.K., Paulmier D. Influence of electric fields on the tribological behaviour of electrodynamic copper/steel contacts // Wear. – 1997. – V. 203–204. – P. 434–441.
9. Fadin V. V. Changes in the structure of the surface layer of metal materials upon friction and electric current loading // Russian Physics Journal. – 2013. – V. 56, N. 4. – P. 378–383.
10. Фадин В. В., Алеутдинова М. И., Колубаев А. В. О роли меди в формировании параметров зоны контакта металлических композитов при нагружении трением и электрическим током // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56, № 12/2. – С. 208–212.
11. Wear and friction behaviours of copper mesh and flaky graphite-modified carbon/carbon composite for sliding contact material under electric current / P. Wang, H. Zhang, J. Yin et al. // Wear. – 2017. – V. 380–381. – P. 59–65.

12. Hase A., Mishina H. Identification and evaluation of wear phenomena under electric current by using an acoustic emission technique // Tribology International. – 2018. – V. 127 – P. 372–378.
13. The synergistic lubricating mechanism of Sn–Ag–Cu and C60 on the worn surface of M50 self-lubricating material at elevated loads / X. Liu, X. Shi, G. Lu, X. Deng et al. // Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – V. 777. – P. 271–284.
14. Савченко Н.Л. Трансформационно-упрочненные керамические и металлокерамические композиции для эксплуатации в условиях высокоскоростного трения // Автореф. дис. ... д-р. техн. наук: 05.16.09, Томск, 2015. – 34 с.
15. Lia X., Gao Y., Yang Q. Sliding tribological performance of B₄C-hBN composite ceramics against AISI 321 steel under distilled water condition // Ceramics International. – 2017. – V. 43 – P. 14932–14937.
16. Kovalchenko A.M., Blau P.J., Qu J., Danyluk S. Scuffing tendencies of different metals against copper under non-lubricated conditions // Wear. – 2011. – V. 271. – P. 2998–3006.

УДК 579.66

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДОВ СЕРЕБРА, КАДМИЯ И ЦИНКА. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. СОЗДАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

О. А. ЖУРАВЛЕВА^{1,2}, Т. А. ВОЕЙКОВА¹, канд. биол. наук, Н. В. БУЛУШОВА¹, канд. биол. наук, В. П. ВЕЙКО³, д-р хим. наук, Т. Т. ИСМАГУЛОВА⁴, Т. Н. ЛУПАНОВА⁵, С. Л. ЛОБАСТОВ⁶, канд. хим. наук, В. М. РЕТИВОВ⁶, канд. хим. наук, В. Г. ДЕБАБОВ¹, д-р биол. наук

¹НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика, 117545, Москва, 1-й Дорожный пр., 1, juravlevaol@rambler.ru

²Аграрно-технологический институт РУДН, 117198, Москва, ул. Миклухо-Макляя, 6

³ФИЦ Биотехнологии РАН, Институт биохимии им. А. Н. Баха РАН, 119071, Москва, Ленинский пр., 33, строение 2

⁴МГУ им. М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

⁵Институт биологии гена РАН, 119334, Москва, ул. Вавилова, 34/5

⁶НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА, 107076, Москва, ул. Богородский Вал, 3

Поступила в редакцию 17.10.2018

После рецензирования 24.10.2018

Принята к публикации 24.10.2018

В НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика разработан простой и экологически безопасный способ получения стабильных наночастиц сульфидов металлов NpAg₂S, NpCdS и NpZnS с использованием различных штаммов микроорганизмов в водном растворе солей – источников металлов и серы. Концентрация наночастиц в водных суспензиях составляет 1–4 мг/мл. С использованием методов электронной микроскопии, спектрофлуориметрии, динамического светорассеяния определены основные характеристики биогенных наночастиц: форма, распределение по размеру, кристаллическая структура, эффективный диаметр, уровень люминесценции, ζ-потенциал. По своим характеристикам эти наночастицы отнесены к квантовым точкам.

Установлено, что стабильность наночастиц в водных суспензиях обусловлена адсорбированными на поверхности наночастиц белковыми молекулами, которые поставляются клетками микроорганизмов. Проведена эффективная иммобилизация биогенных наночастиц на поверхности различных полимерных носителей. Биогенные наночастицы могут быть использованы наряду с наночастицами, полученными физико-химическими методами, в качестве флуорофоров для визуализации биологических процессов, фотокатализаторов как элементов солнечных батарей, для создания новых нанокompозитных материалов.

Ключевые слова: биогенные наночастицы (Np), биосинтез NpAg₂S, NpCdS и NpZnS, бактериальные штаммы, биотехнологический способ, полимерные материалы, бионанокompозиты

ЛИТЕРАТУРА

1. Ali S. M., Ramay S. M., Aziz M. M., Ur-Rehman N., Al Garow M. S., Al Ghamad S. S., Machmood A., Al Khurajji T. S., Atig S. Efficiency enhancement of perovskite solar cells by incorporation of CdS quantum dot through fast electron injection // *Organic Electronics*. – 2018. – V. 62. – P. 21–25.
2. Jabeen U., Mujtaba S., Khan S. U. Photocatalytic degradation of Alizarin CdS using ZnS and cadmium doped ZnS nanoparticles under unfiltered sunlight // *Surface and Interfaces*. – 2017. – V. 6. – P. 40–49.
3. Ye Z., Kong L., Chen F., Chen Z., Li Y., Lin C. A comparative study of photocatalytic activity of ZnS photocatalyst for degradation of various dyes // *Optik*. – 2018. – V. 164. – P. 345–354.
4. Li J., Zhu J. J. Quantum dots for fluorescent biosensing and bio-imaging applications // *Analyst*. – 2013. – V. 138. P. 2506 – 2515.
5. Mal Y., Nanchariah Y. N., Hullenbusch van E. D., Lens P. N. L. Metal chalcogenide quantum dots. Biotechnological synthesis and application // *Royal Society of Chemistry*. – 2016. – V. 6. – P. 41477–41495.
6. Воейкова Т. А., Шебанова А. С., Иванов Ю. Д., Кайшева А. Л., Новикова Л. М., Журавлева О. А., Шумянцева В. В., Шайтан К. В., Кирпичников М. П., Дебабов В. Г. Роль белков внешней мембраны бактерии *Shewanella oneidensis* MR-1 в образовании и стабилизации наночастиц сульфида серебра // *Биотехнология*. – 2015. – № 5. – С. 41–48.
7. Воейкова Т. А., Журавлева О. А., Булушова Н. В., Вейко В. П., Исмагулова Т. Т., Лупанова Т. Н., Шайтан К. В., Дебабов В. Г. «Белковая корона» наночастиц сульфида серебра, полученных в присутствии грамотрицательных и грамположительных бактерий // *Молекулярная генетика, микробиология, вирусология*. – 2017. – № 4. – С. 151–156.
8. Lu Y. X., Li L., Ding Y., Zhang F., Wang Y., Yu W. Hydrothermal synthesis of functionalized CdS nanoparticles and their application as fluorescence probes in the determination of uracil and thymine // *Journal of Luminescence*. – 2012. – V. 132 – P. 244–249.
9. Xiao X., Ma X.-Bo, Yuan H., Liu P.-C., Lei Y.-B., Xu H., Du D.-L., Sun J.-F., Feng Y.-J. Photocatalytic properties of zinc sulfide nanocrystals biofabricated by metal-reducing bacterium *Shewanella oneidensis* MR-1 // *Journal of Hazardous Materials*. – 2015. – V. 288. – P. 134–139.
10. Yu X., Yu J., Cheng B., Huang B. One-pot template-free synthesis of monodisperse zinc sulfide hollow spheres and their photocatalytic properties // *Chemistry a European Journal*. – 2009. – V. 15. – P. 6731–6739.
11. Yue L, Qi S., Wang J., Cai J., Xin B. Controllable biosynthesis and characterization of α -ZnS and β -ZnS quantum dots: Comparing their optical properties // *Materials Science in Semiconductor Processing*. – 2016. – V. 56. – P. 115–118.
12. Qi P., Zhang D., Zeng Y., Wan Y. Biosynthesis of CdS nanoparticles: A fluorescent sensor for sulfate-reducing bacteria detection // *Talanta*. – 2016. – V. 147. – P. 142–146.
13. Zhou N.-Q., Tian Li-J., Wang Yu-Cai, Li Dao-Bo, Li Pan-Pan, Zhang X., Yu Han-Qing. Extracellular biosynthesis of copper sulfide nanoparticles by *Shewanella oneidensis* MR-1 as a photothermal agent // *Enzyme and Microbial Technology*. – 2016. –V. 95. – P. 230–235.
14. Dong B., Li C., Chen G., Zhang Y., Deng M., Wang Q. Facile synthesis of highly photoluminescent Ag₂Se quantum dots as a new fluorescent probe in the second near-infrared window for in vivo imaging // *Chemistry of Materials*. – 2013. – V. 25. – P. 2503–2509.
15. Левшенко Е. Н., Грицкова И. А., Гусев С. А., Гусев А. А., Волкова Е. В. Полимерные микросферы в качестве носителей флуоресцентной метки при построении трехмерной модели сосудистого русла экспериментальных животных // *Биотехнология*. – 2013. – Т. 6. – С. 65–70.
16. Волкова Е. В., Лукашевич А. Д., Левачева И. С., Левачев С. М., Гусев С. А., Грицкова И. А. Выбор полимерных микросфер для проведения реакции латексной агглютинации в плащечном формате // *Вестник МИТХТ*. – 2013. – Т. 8, № 6. – С. 68–72.
17. Бражник К. И., Барышникова М. А., Соколова З. А., Набиев И. Р., Суханова А.В. Новые направления в исследовании и ранней диагностике рака с применением детекционных систем на основе флуоресцентных нанокристаллов // *Российский биотерапевтический журнал*. – 2013. – Т. 12, № 3. – С. 11–24.

18. Gao X., Cui Y., Levenson R. M., Chung L. W., Nie S. In vivo cancer targeting and imaging with semiconductor quantum dots // *Nature Biotechnology*. – 2004. – V. 22. – P. 969–976.
19. Воейкова Т. А., Журавлева О. А., Грачева Т. С., Булушова Н. В., Исмагулова Т. Т., Шайтан К. В., Дебабов В. Г. Оптимизация микробного синтеза наночастиц сульфида серебра // *Биотехнология*. – 2017. – Т. 33, № 3. – С. 38–46.
20. Бахтина А. В., Сиваев А. А., Левачев С. М., Гусев С. А., Лобанова Н. А., Лазов М. А. Синтез аминоксодержащих полимерных микросфер затравочной сополимеризацией для применения в биотехнологии // *Тонкие химические технологии*. – 2017. – Т. 12, № 4. – С. 75–84.

УДК 678.074:534.286:620.178.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

С. Н. ЯКОВЛЕВ¹, канд. техн. наук, А. А. ЧЕРНЫШ², канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: stannik59@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»
(СПбГМТУ), 190121, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., 3

Поступила в редакцию 2.07.2018
После рецензирования 23.07.2018
Принята к публикации 21.08.2018

В современном машиностроении широкое распространение для использования в качестве виброизоляционного материала получили полиуретановые эластомеры. Среди большого разнообразия материалов, предлагаемых для изготовления амортизаторов, не существует более совершенного конструкционного материала, чем полиуретан. В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований виброизоляционных свойств полиуретана по двум параметрам из пяти. На основании предварительных испытаний отдано предпочтение одному из трех предложенных для испытаний материалов. В качестве критериев оценки виброизоляционных свойств полиуретановых эластомеров выбран коэффициент поглощения энергии и ползучесть эластомера. Для окончательного обоснованного выбора полиуретанового эластомера для изготовления амортизаторов необходимо проведение дополнительных испытаний.

Ключевые слова: полиуретан, виброизоляционные свойства, амортизатор, коэффициент поглощения энергии, ползучесть полиуретана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Manuel Valero F. Preparation and Properties of Polyurethanes based on Castor Oil Chemically Modified with Yucca Starch Glycoside // *Journal of Elastomers and Plastics*. – 2009. – N 41. – P. 223–244.
2. Maity M. Polyblend Systems of Polyurethane Rubber and Silicone Rubber in the Presence of Silane Grafting Agent // *Journal of Elastomers and Plastics*. – 2001. – N 33. – P. 211–224.
3. Kahraman H., Haberstroh E. Einfluss von aktiven Fullstoffen in Elastomeren auf den anisotropen Mullins-Effekt. Anisotroper Mullins-Effekt // *Gummi. Fasern. Kunststoffe*. – 2014. – N. 5. – P. 296–298.
4. Gonella L. B. New Reclaiming Process of Thermoset Polyurethane Foam and Blending with Polyamide-12 and Thermoplastic Polyurethane // *Journal of Elastomers and Plastics*. – 2009. – N 41. – P. 303–322.
5. Neise E., Zepp C. Optische Deformationsanalyse von Fahrzeugreifen. Dynamische Reifenanalyse // *Gummi. Fasern. Kunststoffe*. – 2013. – N 1. – P. 23–30.
6. Yokoyama N. Properties of Polyurethane Containing New Phenolic Additives // *Journal of Elastomers and Plastics*. – 2007. – N 39. – P. 347–369.
7. Яковлев С. Н. Проектирование и основы технологии деталей машин из полиуретана. – СПб.: Реноме, 2013. – 176 с.
8. Лепетов В. А., Юрцев Л. Н. Расчеты и проектирование резиновых изделий. – Л.: Химия, 1977. – 408 с.

9. Райт П. Полиуретановые эластомеры. – М.: Химия, 1973. – 304 с.
10. Marcos Pacheco F. M. Thermal, Chemical, and Morphological Characterization of Microcellular Polyurethane Elastomers // Journal of Elastomers and Plastics. – 2009. – N 41. – P. 323–338.
11. Janusz D. Synthesis and Investigation of Glycolysates and Obtained Polyurethane Elastomers // Journal of Elastomers and Plastics. – 2010. – N 42. – P. 117–127.
12. Yakovlev S. N. Self-Oscillation of an Elastic Polyurethane Coating in Polishing // Russian Engineering Research. – 2014. – N 5. – P. 295–298.
13. Крыжановский В. К., Бурлов В. В. Пластмассовые детали технических устройств. – СПб.: Изд-во НОТ, 2014. – 456 с.
14. Демидович Б. П., Марон И. А. Численные методы анализа. – М.: Лань – 2008. – 357 с.

УДК 678.074:620.178.325.2:621.317.331

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛАСТОМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ, ПРИ СЖАТИИ, РАСТЯЖЕНИИ И КРУЧЕНИИ

В. С. ЯГУБОВ, А. В. ЩЕГОЛЬКОВ, канд. техн. наук, А. В. ЩЕГОЛЬКОВ,
Н. Р. МЕМЕТОВ, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
392000, Тамбов, ул. Советская, 106. E-mail: post@mcms1.tstu.ru

Поступила в редакцию 28.12.2018

После доработки 21.03.2019

Принята к публикации 26.03.2019

Одним из перспективных направлений материаловедения является разработка «умных» материалов, обладающих высоким уровнем как конструкционных, так и функциональных характеристик. Измерение электрического сопротивления полимеров при постоянном токе, в частности эластомеров, модифицированных углеродными нанотрубками (УНТ), при испытаниях на сжатие, растяжение, кручение является актуальным в электротехнике, машиностроении, авиакосмической отрасли. Деформация эластомеров при разных видах испытаний приводит к деструкции макромолекул и структурированию материала в целом. Поэтому большое значение приобретает исследование влияния модифицирующего наполнителя УНТ на свойства композиции на основе эластомеров. При сжатии, растяжении или кручении наномодифицированных эластомеров наряду с взаимным перемещением его фрагментов макромолекул и макромолекулярных агрегатов происходит также перемещение частиц модификатора, который в целом определяет транспорт электронов в полученной структуре, а также влияет на физико-механические параметры композиционного материала. Для проведения исследований были изготовлены композиции на основе эластомеров с различным процентным содержанием модифицирующего наполнителя УНТ. Для исследования и выявления соответствующих зависимостей была изготовлена измерительная система, позволяющая определять значения электрического сопротивления при механических нагрузках на композиционный материал с различным содержанием УНТ в составе полимерной матрицы. На основании полученных результатов было установлено, что электрическое сопротивление композитов на основе эластомеров, модифицированных 1–2,5 мас.% УНТ, на участке сжатия от 0 до 100 Н уменьшается. На участке действия силы сжатия на композит 100–350 Н электрическое сопротивление остается неизменным. При растяжении композитов на основе эластомеров, модифицированных 2–2,5 мас.% УНТ, на 30–40% электрическое сопротивление увеличивалось от $5 \cdot 10^3$ до $1,9 \cdot 10^7$ Ом.

Ключевые слова: композит, эластомер, УНТ, электрическое сопротивление, сжатие, растяжение, кручение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махсидов В. В., Резников В. А., Мухаметов Р. Р., Дориомедов М. С. Интеллектуальные полимерные материалы и их применение в аэрокосмической отрасли // Вопросы материаловедения. – 2017. – №3 (91). – С. 110–120.
2. Фарафонова О. В., Шукшина Е. И., Ермолаева Т. Н. Применение многостенных углеродных нанотрубок для увеличения чувствительности определения фармацевтических препаратов с по-

мощью пьезоэлектрических иммуносенсоров // Биотехнология: состояние и перспективы развития. – Изд-во ООО «РЭД ГРУПП», 2017. – С. 353–354.

3. Анализ распределения электрофизических и фотоэлектрических свойств нанокompозитных полимеров модифицированным зондом Кельвина / К. В. Пантелеев и др. // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т. 8, №. 4. – С. 386–397. DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-4-386-397

4. Effect of carbon nanotube and functionalized liquid rubber on mechanical and electrical properties of epoxy adhesives for aircraft structures / L. Vertuccio, L. Guadango, et al. // Composites Part B. – 2017. – V. 129. – P. 1–10.

5. Electrical conductivity of chemically modified multiwalled carbon nanotube/epoxy composites / Y.J. Kim, T.S. Shin, et al. // Carbon. – 2005. – V. 43. – P. 23–30.

6. Electrically conductive adhesives based on thermoplastic polyurethane filled with silver flake and carbon nanotubes / J. Luo, Z. Cheng, et al. // Composites science and technology. – 2016. – V. 129. – P. 191–197.

7. The effect of multi-wall carbon nanotube morphology on electrical and mechanical properties of polyurethane nanocomposites / J. Sethi, E. Sarlin, et al. // Composites: Part A. – 2017. – V. 102, N 1–24. – P. 305–313.

8. Positive temperature coefficient characteristic and structure of graphite nanofibers reinforced high density polyethylene/carbon black nanocomposites / Qi Li, Siddaramaiah, et al. // Composites part B. – 2009. – V. 40. – P. 218–224.

9. Billias M. G., Borders M. E. Electrically conductive structural adhesive // Google Patents; 1984. URL: <https://patents.google.com/patent/US4428867>

10. Kymakis E., Amaratunga G. A. Electrical properties of single-wall carbon nanotube-polymer composite films // Journal of Applied Physics. – 2006. – V. 99(8). – P. 084302.

11. Strength and stiffness of adhesively bonded GFRP beam-column moment resisting connections / F. Ascione, M. Lamberti, et al. // Compos Struct. – 2017. – V. 160. – P. 1248–1257.

12. Toughening of Epoxy Adhesives by Combined Interaction of Carbon Nanotubes and Silsesquioxanes / G. Barra, L. Vertuccio, et al. // Materials. – 2017. – V. 10. – P. 1–18.

13. The Effect of Carbon Nanotubes on the Fracture Toughness and Fatigue Performance of a Thermosetting Epoxy Polymer / T. H. Hsieh, A. J. Kinloch, et al. // Journal of Materials Science. – 2011. – V. 46. – P. 7525–7535.

14. Bezryadin A, Verschueren A, Tans S, Dekker C () Multiprobe transport experiments on individual single-wall carbon nanotubes. Physical Review Letters. – 1998. – V. 80. – P. 4036–4039

15. Nardelli M. B., Bernholc J. Mechanical deformations and coherent transport in carbon nanotubes // Physical review. B, Condensed matter. – 1999, December, N 60(24). – P. 16338–16341.

16. Peng S., Cho K. Chemical control of nanotube electronics // Nanotechnology. – 2000. – V. 11. – P. 57–60.

17. Reversible electromechanical characteristics of carbon nanotubes under local-probe manipulation / T.W. Tomblor, C. Zhou, et al. // Nature. – 2000. – V. 405. – P. 769–772.

18. The influence of graphene-like structures on the effect of temperature self-regulation in an electroconducting polymer material // Shchegolkov A. et al. // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2018. – V. 2041. – N 1. – P. 020025.

19. Ягубов В. С., Щегольков А. В. Саморегулируемый электронагреватель на основе эластомера, модифицированный многослойными углеродными нанотрубками // Вестник ВГУИТ. – 2018. – Т. 80, № 3. – С. 341–345. Doi:10.20914/2310-1202-2018-3-341-345.

20. Graphene-based surface heater for de-icing applications / N. Karim et al. // RSC Advances. – 2018. – V. 8, N 30. – P. 16815–16823.

21. УНТ серии «Таунит» // ООО "НаноТехЦентр" URL: <http://nanotc.ru/productions/87-cnm-taunit> (дата обращения: 12.12.2018).

22. Characterisation of graphite nanoplatelets and the physical properties of graphite nanoplatelet/silicone composites for thermal interface applications / M. A. Raza, A. Westwood, et al. // Carbon. – 2011. – V. 49. – P. 4269–4279.

23. Carbon nanotubes based high temperature vulcanized silicone rubber nanocomposite with excellent elasticity and electrical properties / S. Shang, L. Gan, et al. // Composites. Part A. – 2014. – V. 66. – P. 135–141.

24. Yagubov V., Stolyarov R., Memetov N., Blokhin A., Tkachev A., Gorshkova A., Moskova M. Nanomodified electroconducting glue compositions based on polychloroprene rubber // 2D Systems of the Strong Correlated Electrons: From Fundamental Research to Practical Applications AIP Conf. Proc. 2041.2018 020026-1–020026-4; <https://doi.org/10.1063/1.5079357>.

УДК 678.067.2:661.666

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ ТКАНЯМИ.

Часть 4. Механико-аналитическая модель деформации структуры углеродной ткани

Б. М. ПРИМАЧЕНКО¹, д-р техн. наук, К. О. СТРОКИН², канд. техн. наук

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» (СПбГУПТД), 191186, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 18,
E-mail: primbm@mail.ru

²Концерн НПО «Аврора», 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15

Поступила в редакцию 11.02.2019

После доработки 13.03.2019

Принята к публикации 20.03.2019

Выполнены теоретические исследования деформации структуры углеродной ткани. Получены функциональные зависимости между механическими характеристиками ткани и параметрами строения углеродных нитей, механическими характеристиками углеродных нитей и параметрами строения и технологическими параметрами ткани. На основе теоретических исследований построены механико-аналитические модели деформации структуры углеродной ткани.

Ключевые слова: углеродная ткань, структура, армирующий компонент, деформация, механико-аналитическая модель, механические характеристики

УДК 678.067

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Н. АМАНГЕЛЬДЫУЛЫ, М. В. ФЕДОРОВ, д-р. хим. наук

Сколковский институт науки и технологий, 121205, Москва, Инновационный центр Сколково, Большой бульвар, д.30, стр.1, E-mail: nurlybek.amangeldiuly@skoltech.ru, m.fedorov@skoltech.ru

Поступила в редакцию 23.08.2018

После доработки 19.11.2018

Принята к публикации 29.11.2018

В обзоре приведен анализ мировых тенденций текущих исследований в области полимерных композиционных материалов из углеродных волокон (углепластиков). Подробно рассмотрены исследования, проведенные в 2018 году. По сумме финансирования отмечены четыре приоритетных направления. К ним относятся переработка углепластиков, оптимизация процессов их производства, применение углепластиков в авиационной и судостроительной промышленности. Данный обзор может способствовать определению наиболее приоритетных и актуальных исследований, которые проводятся в настоящее время и будут проводиться в ближайшем будущем.

Ключевые слова: углепластики, углеродные волокна, композиты, финансирование, приоритетные направления

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов Г. В., Мягкова Л. А., Светличный В. М., Ивановка Е. М., Юдин В. Е. Углепластики на основе порошковых полиимидных связующих, модифицированных углеродными наноконусами // Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 38–44.

2. Dao T.D., Ha N.S., Goo N.S., Yu W.R. Design, fabrication, and bending test of shape memory polymer composite hinges for space deployable structures // *J. Intell. Mater. Syst. Struct.* – 2017. – V. 29, No 8. – С. 1560–1574.
3. Wang X., Jiang M., Zhou Z., Gou J., Hui D. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective // *Compos. Part B Eng.* – 2017. – V. 110. – С. 442–458.
4. Sun H., Zhang Y., Zhang J., Sun X., Peng H. Energy harvesting and storage in 1D devices // *Nat. Rev. Mater.* – 2017. – V. 2. – С. 17023.
5. Goh G.D., Agarwala S., Goh G.L., Dikshit V., Sing S.L., Yeong W.Y. Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential // *Aerosp. Sci. Technol.* – 2017. – V. 63. – С. 140–151.
6. Yin X.W., Cheng L.F., Zhang L.T., Travitzky N., Greil P. Fibre-reinforced multifunctional SiC matrix composite materials // *Int. Mater. Rev.* – 2017. – V. 62. – No 3. – С. 117–172.
7. Huang X. Fabrication and Properties of Carbon Fibers // *Materials.* – 2009. – V. 2. – No 4. – С. 2369–2403.
8. Roudsari S. et al. Analytical Study of Reinforced Concrete Beams Strengthened by FRP Bars Subjected to Impact Loading Conditions // *Am. J. Eng. Appl. Sci.* – 2018. – V. 11. – No 2. – pp. 407–425.
9. Shirvanimoghaddam K. et al. Carbon fiber reinforced metal matrix composites: Fabrication processes and properties // *Compos. Part Appl. Sci. Manuf.* – 2017. – V. 92. – С.70–96.
10. Резник С. В. Актуальные проблемы проектирования, производства и испытания ракетно-космических композитных конструкций // *Инженерный журнал наука и инновации.* – 2013. – Т. 3, № 15. – С. 25.
11. Столянков Ю. В., Исходжанова И. В., Антюфеева Н. В. К вопросу о дефектах образцов испытаний углепластиков // *Труды ВИАМ.* – 2014. – Т. 10. – С. 1–10.
12. Куликова Ю. В., Тукачева К. О. Анализ технологий утилизации полимерных композиционных материалов // *Транспорт, транспортные сооружения, экология.* – 2017. – № 4. – С. 103–122.
13. Zerrahn A. Wind Power and Externalities // *Ecol. Econ.* – 2017. – V. 141. – С. 245–260.
14. Griffin D.A., Zuteck M.D. Scaling of Composite Wind Turbine Blades for Rotors of 80 to 120. Meter Diameter // *J. Sol. Energy Eng.* – 2001. – V. 123, No 4. – С. 310–318.
15. Kondo T., Nanba H., Takezawa T., Okumura M. Technical Trend Analysis by Analyzing Research Papers' Titles // *Human Language Technology. Challenges for Computer Science and Linguistics.* – 2011. – С. 512–521.
16. Grimpe C., Extramural research grants and scientists' funding strategies: Beggars cannot be choosers? // *Res. Policy.* – 2012. – V. 41, No 8. – С. 1448–1460.

УДК 621.791.722.03:669.14.018.41–413

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА ХЛАДОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ БОЛЬШИХ ТОЛЩИН УЗЛОВ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ПЛАТФОРМ

Н. В. АЛЕКСАНДРОВ, канд. техн. наук, Е. Д. БЛАНК, канд. техн. наук, С. Б. ЕРОШКИН,
М. Г. ШАРАПОВ, д-р техн. наук

*НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru*

Поступила в редакцию 21.12.2018

После доработки 4.03.2019

Принята к публикации 5.03.2019

С целью снижения стоимости сварочных работ и повышения качества и производительности сварки деталей из хладостойких сталей больших толщин при строительстве нефтедобывающих платформ разработаны конструкции технологической оснастки и приспособления для электронно-лучевой сварки, включающие стапели перемещения электронной пушки по стыку, систему видеонаблюдения за процессом сварки и механизм подачи сварочной проволоки. Разработано программное обеспечение управления перемещения изделия и электронно-лучевой пушки.

Ключевые слова: хладостойкие стали больших толщин, электронно-лучевая сварка, технологическая оснастка, программное обеспечение

ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-4. Технология сварки, пайки, резки / Под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 2006. – 768 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974с 768 с.
3. Кайдалов А. А. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. – Киев: Экотехнология, 2004. – 260 с.
4. ЭЛС-2008. Технологии и оборудование // Материалы первой Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции. – СПб.: ООО «Агенство ВиТ-Принт», 2008. – 210 с.
5. ЭЛС-2011. Технологии и оборудование // Доклады Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции, 24-26 мая 2011 года. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 314 с
6. Назаренко О. К., Кайдалов А. А., Ковбасенко С. Н. Электронно-лучевая сварка. – Киев: Наук. думка, 1987. – 255 с.
7. Шаронов Н. И., Шарапов М. Г. Модернизация устройства для развертки электронного луча при ЭЛС траектории типа «сжатая скоба» // Вопросы материаловедения. – 2018. – № 2 (94). – С. 161–166.

УДК 669.715:620.193.21

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ НАТУРНО-УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ. Часть 2. Питтинговая коррозия

М. Г. КУРС, канд. техн. наук, А. А. ГОНЧАРОВ

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» (ФГУП «ВИАМ»), 105005, Москва, ул. Радио, д. 17, E-mail: admin@viam.ru

Поступила в редакцию 24.05.2018

После доработки 19.11.2018

Принята к публикации 26.11.2018

Представлены результаты исследования питтинговой коррозии алюминиевых сплавов с разными системами легирования после натурно-ускоренных испытаний. Показаны преимущества лазерной сканирующей микроскопии при анализе питтинговой коррозии, позволяющей значительно повысить точность измерений по сравнению с металлографическим методом. При длительных натурно-ускоренных испытаниях исследованы особенности кинетики роста питтинга, показана роль питтинговой коррозии в части определения склонности сплава к локальному коррозионному разрушению.

Ключевые слова: питтинговая коррозия, алюминиевые сплавы, натурно-ускоренные испытания, методы исследования

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № 1 (34). – С. 3–33. – DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33
2. Каблов Е. Н., Старцев О. В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № 2. – С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87
3. Каблов Е. Н., Старцев О.В., Медведев И.М., Панин С.В. Коррозионная агрессивность при морской атмосфере. Ч. 1. Факторы влияния (обзор) // Коррозия: материалы, защита. – 2013. – № 12. – С. 6–18.
4. Антипов В. В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С.157–167.

5. Каблов Е. Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки - основа инноваций // Крылья Родины. – 2016. – № 5. – С. 8–18.
6. Soltis J. Passivity breakdown, pit initiation and propagation of pits in metallic materials // Corrosion Science. – 2015. – N 90. – P. 5–22.
7. Виноградова С. С., Тазиева Р. Ф. Параметры математических моделей питтинговой коррозии // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 20. – С. 66–68.
8. Виноградова С. С., Тазиева Р. Ф., Кайдриков Р. А. Обзор стохастических моделей питтинговой коррозии // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 8. – С. 313–318.
9. Szklarska-Smialowska Z. Pitting corrosion of aluminum // Corrosion Science. – 1999. – N 41. – P. 1743-1767.
10. Жиликов В. П., Каримова С. А., Лешко С. С., Чесноков Д. В. Исследование динамики коррозии алюминиевых сплавов при испытании в камере солевого тумана // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 4. – С. 18–22.
11. Knight S. P., Salsgaras M., Trueman A. R. The study of intergranular corrosion in aircraft aluminum alloys using X-ray tomography // Corrosion science. – 2011. – № 53. – С. 727–734.
12. Колобнев Н. И., Махсидов В. В., Самохвалов С. В., Сбитнева С. В., Попов В. И., Курс М. Г. Влияние деформации после закалки и режимов старения на механические и коррозионные свойства сплава системы Al–Mg–Si–Cu–Zn // Авиационные материалы и технологии. – 2011. – № 1. – С. 12–15.
13. Курс М. Г., Лаптев А. Б., Кутырев А. Е., Морозова Л. В. Исследование коррозионного разрушения деформируемых алюминиевых сплавов при натурно-ускоренных испытаниях. Часть 1 // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 1 (85). – С. 116–126.
14. Скрипченко Ю. С. Шероховатость обработанной поверхности // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7, № 12–2. – С. 99–100.
15. Алиев А. А., Булгаков В. П., Приходько Б. С. Качество поверхности и свойства деталей машин // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2004. – № 1. – С. 8–12.
16. Вильнер А. Ю. Физико-химическая обработка крупногабаритных деталей летательных аппаратов // Наука и современность. – 2010. – № 2-2. – С. 309–314.
17. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
18. ГОСТ 9.908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
19. ASTM G46–94(2013). Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion.
20. Исходжанова И. В., Орлов М. Р., Григоренко В. Б., Лаптева М. А. Применение метода конфокальной лазерной сканирующей микроскопии для исследования коррозионных повреждений // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2015. – № 4. – Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 18.01.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-4-11-11
21. Синявский В. С., Вальков В. Д., Калинин В. Д. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. 2-е изд. – М.: Металлургия, 1986. – 368 с.
22. Курс М. Г., Антипов В. В., Луценко А. Н., Кутырев А. Е. Интегральный коэффициент коррозионного разрушения деформируемых алюминиевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – № 3. – С. 24-32. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-3-24-32.
23. Курс М. Г., Кутырев А. Е. Применение интегрального коэффициента коррозионного разрушения для прогнозирования изменения прочностных свойств деформируемых алюминиевых сплавов // Сб. докл. всерос. молодеж. науч.-технич. конф. «Современное материаловедение: традиции отечественных научных школ и инновационный подход». – М.: ФГУП «ВИАМ», 2017. – С. 132–142.