

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

- Ковальчук М. В., Орыщенко А. С. Малышевский В. А., Петров С. Н., Шумилов Е. А. Проблемы создания технологичных экономнолегированных высокопрочных сталей для арктических конструкций..... 7
- Фомина О. В., Костина М. В. Исследование влияния температурно-деформационных параметров при ВТМО на образование избыточных фаз в высокопрочной аустенитной азотсодержащей стали 17
- Кудрявцев А. С., Охупкин К. А. Науглероживание теплообменных труб из стали марки 09X18H9 в контакте с натриевым теплоносителем..... 29
- Баглюк Г. А., Куровский В. Я., Захарченко Э. В. Влияние обработки расплава брикетированными карбамидсодержащими модификаторами на свойства и структуру серого чугуна 38
- Тарасенко Ю. П., Кириков С. В., Бердник О. Б., Кривина Л. А. Оценка возможности восстановления работоспособности материала лопаток турбин энергетических установок методами количественного анализа упрочняющих фаз и исследований локальных механических характеристик . 49
- Бурханов Г. С., Дементьев В. А. Тугоплавкие монокарбиды и дибориды переходных металлов – перспективные компоненты высокотемпературных композиционных материалов 57
- Бондаренко Ю. А., Колодяжный М. Ю., Ечин А. Б., Раевских А. Н. Исследование микроструктуры и свойств ниобийкремниевого эвтектического композита, полученного при направленной кристаллизации в жидкометаллическом охладителе..... 68

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Фармаковский Б. В. Комбинированный способ литья микропроводов в стеклянной изоляции..... 77
- Юльметова О. С., Туманова М. А., Щербак А. Г., Юльметова Р. Ф. Анализ свойств модифицированных тонкопленочных структур, формируемых в процессе лазерной обработки поверхности нитрида титана 83
- Загашвили Ю. В., Левихин А. А., Кузьмин А. М., Анискевич Ю. В., Васильева О. В. Технология получения водорода с использованием малогабаритных транспортабельных установок на основе высокотемпературных газогенераторов синтез-газа 92
- Кривина Л. А., Царева И. Н. Модифицирование поверхности скольжения детали высокоскоростной пары трения методом частотно-импульсной имплантации..... 110
- Макаров А. М., Геращенко Д. А., Васильев А. Ф. Оптимизация параметров процесса напыления покрытий методом ХГДН применительно к условиям производства на примере порошка алюминия..... 116
- Бобкова Т. И., Фармаковский Б. В. Износостойкие коррозионно-стойкие функционально-градиентные покрытия на основе композиционных порошков системы металл – неметалл 124
- Фармаковский Б. В., Геращенко Д. А., Быстров Р. Ю., Васильев А. Ф., Улин И. В., Бобкова Т. И. Износостойкие функционально-градиентные покрытия на основе квазикристаллов, полученные методом сверхзвукового холодного газодинамического напыления..... 130
- Соколова Н. А., Бобкова Т. И., Геращенко Е. Ю., Фармаковский Б. В., Юрков М. А. Изучение структуры и свойств наплавленного износостойкого слоя на основе порошка системы Fe–Ni, армированного нанопорошком WC..... 136
- Барахтин Б. К., Бобырь В. В., Вознюк А. В., Деев А. А., Жуков А. С., Кузнецов П. А. Оптимизация технологических параметров и определение режимов селективного лазерного сплавления порошка на основе стали 316L..... 146

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Железина Г. Ф., Войнов С. И., Каримбаев Т. Д., Чернышев А. А. Арамидные органопластики для корпусов вентиляторов авиационных двигателей	153
Деев И. С., Куршев Е. В., Лонский С. Л. Влияние длительного климатического старения на микроструктуру и характер разрушения эпоксидных стеклопластиков в условиях изгиба	166
Бахарева В. Е., Зеленин Ю. В., Николаев Г. И., Никитина И. В. Антифрикционные углепластики в узлах трения технических устройств, работающих в условиях Арктики и Крайнего Севера	179
Валуева М. И. Современные материалы и технологии ДЛЯ получения бронезащитных изделий	197

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Кархин В. А., Хомич П. Н., Панченко О. В., Иванов С. Ю. Расчет температурного поля по заданной геометрии сварочной ванны при сварке плавлением	208
--	-----

Хроника

Всероссийскому институту авиационных материалов 85 лет	217
К юбилею академика РАН Ирины Георгиевны Горячевой	218
Конференции 2017 года	220

Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов	221
---	------------

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНЫХ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

М. В. Ковальчук¹, чл.-корр. РАН, А. С. Орыщенко², д-р техн. наук,
В. А. Малышевский², д-р техн. наук, С. Н. Петров², канд. хим. наук, Е. А. Шумилов²

¹НИЦ «Курчатовский институт», 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1

²НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru

Статья поступила 7.02.2017

Исследованы проблемы, возникающие при создании технологий получения сталей с ультрамелким зерном, обладающих высоким уровнем физико-механических свойств при умеренном легировании. Показана возможность измельчения зерна до 1–1,5 мкм с помощью пластометра Gleeble 3800 и стана Кварто 800. При содержании в структуре 30–50% зерен размером менее 500 нм прочность стали составляет более 1000 МПа при высокой пластичности. При этом легирование может быть минимальным по сравнению с известными сталями. Показана возможность моделирования промышленных технологических процессов производства на пластометре Gleeble 3800 и стане Кварто 800.

Ключевые слова: фрагментация структуры, пластическая деформация, наноструктурирование, углы разориентировки, термомеханическая обработка, унификация химического состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбин В. В. Малышевский В. А. Хлусова Е. И. «Высокопрочные свариваемые улучшаемые стали. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2016. – 211 с.
2. Одинг И. А., Зубарев П. В. Влияние механико-термической обработки на некоторые свойства армо-железа // Изв. АН СССР. ОТН. – 1963. – № 1.
3. Орыщенко А. С., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. Современные конструкционные стали для Арктики // Судостроение. – 2013. – № 3. – С. 46–49.
4. Рыбин В. В. Структурно-кинетические аспекты развитой пластической деформации // Известия вузов. Физика. – 1991. – № 3. – С. 7–22.
5. Jonas J. J., Weiss I. Effect of precipitation on recrystallization in microalloyed steels // Metals Sci. – 1979. – V. 13. – P. 238–245.
6. Bhadeshia H. K. D. N., Chang L. C. Metallographic observations of bainite // Mat. Sei. Techn. – 1995. – N 11. – P. 105–108.
7. Круглова А. А., Орлов В. В., Хлусова Е. И., Голованов А. В. Влияние параметров термомеханической обработки на структуру и свойства горячекатаной толстолистовой низколегированной стали улучшенной свариваемости // Производство проката. – 2006. – № 3. – С. 21–28.
8. Хлусова Е. И., Круглова А. А., Орлов В. В. Влияние технологических режимов и химического состава на размер аустенитного зерна в низкоуглеродистой стали // МИТОМ. – 2007. – № 12. – С. 8–12.
9. Эфрон Л. И. Металловедение в «большой» металлургии. Трубные стали – М.: Металлургиздат, 2012. – 696 с.
10. Хлусова Е. И., Михайлов М. С., Орлов В. В. Особенности формирования структуры толстолистовой низкоуглеродистой стали при термомеханической обработке // Деформация и разрушение. 2007. – № 6. – С. 18–25.
11. Hanlon D. N., Van der Zwang S. J. S. The effect of plastic deformation of austenite on the kinetics of subsequent ferrite formation // USIJ Int. – 2001. – V. 9. – P. 1028–1036.
12. Коротовская С. А., Нестерова Е. В., Орлов В. В., Хлусова Е. И. Влияние параметров пластической деформации на формирование ультрамелкозернистой структуры в низколегированных бейнитных сталях // Вопросы материаловедения. – 2011. – № 1 (65). – С. 100–109.
13. ГОСТ Р 52927–2015. Прокат для судостроения из стали нормальной повышенной и высокой прочности. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015.

14. Горынин И. В., Хлусова Е. И. Наноструктурированные стали для освоения месторождений шельфа северного ледовитого океана // Вестник РАН. – 2010. – Т. 80, № 12. – С. 1069–1075.

15. Сыч О. В., Хлусова Е. И., Орлов В. В., Круглова А. А. Усовершенствование химического состава и технологических режимов производства штрипса K65–K70(X80–X90) на базе имитационного моделирования // Metallurgia. – 2013. – № 2. – С. 50–58.

УДК 669.14.018.295:539.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВТМО НА ОБРАЗОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНЫХ ФАЗ В ВЫСОКОПРОЧНОЙ АУСТЕНИТНОЙ АЗОТСОДЕРЖАЩЕЙ СТАЛИ

О. В. ФОМИНА¹, канд. техн. наук, М. В. КОСТИНА², д-р техн. наук

¹НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург, Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru

²ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН», 119991, Москва, Ленинский проспект, 49

Статья поступила 6.02.2017

При изготовлении полуфабрикатов из азотсодержащей стали для обеспечения длительной работоспособности и надежности конструкций необходимо исключить образование крупных включений избыточных фаз (карбидов и нитридов), особенно по границам зерен, а также в тройных стыках зерен, которые существенно влияют на зарождение трещин и, как следствие, на развитие процессов разрушения материала.

Для исследования термодинамических процессов, происходящих в высокопрочной немагнитной коррозионно-стойкой азотсодержащей стали марки 04X20H6Г11M2АФБ с содержанием азота 0,45%, выполнен теоретический расчет равновесного фазового состава стали с использованием программного аппарата Thermo-Calc. В результате дилатометрических и металлографических исследований установлены температурные интервалы образования дисперсных частиц карбонитридов при охлаждении, отсутствие склонности данной стали к прерывистому распаду и образованию σ -фазы при температуре ниже 900°C.

Температурный интервал образования карбонитридных фаз для исследуемой стали составляет от 1020 до 850°C. Деформация в 10–30% приводит к его расширению от 1050 до 410°C. Существенное влияние на интенсивность образования карбонитридов непосредственно при высокотемпературной термомеханической обработке оказывает степень деформации в каждом процессе.

Ключевые слова: аустенитная азотсодержащая сталь, карбонитриды, фазовый состав, деформация, температурный интервал образования избыточных фаз

ЛИТЕРАТУРА

1. Приданцев М. В., Талов Н. П., Левин Ф. Л. Высокопрочные аустенитные стали. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с.

2. Банных О. А., Блинов В. М., Костина М. В. Азот как легирующий элемент в сплавах на основе железа // Сб. Трудов второй научной школы-семинара, Магнитогорск, 2000. – С. 157–192.

3. Банных О. А., Блинов В. М., Костина М. В., Блинов Е. В., Мурадян С. О. О возможности применения в российском арматуростроении аустенитных азотистых сталей // Арматуростроение. – № 89. – 2014. – С. 67–76.

4. Малышевский В. А., Цуканов В. В., Калинин Г. Ю., Грачев Г. В. Современные маломангнитные стали для судостроения // Судостроение. – 2009. – № 3. – С. 66–68.

5. Калинин Г. Ю., Харьков А. А., Фомина О. В., Голуб Ю. В. К вопросу о перспективах широкого внедрения аустенитных сталей, легированных азотом // Морской вестник. – 2010. – № 4 (36). – С. 82–83.

6. Тонышева О. А., Вознесенская Н. М. Перспективные высокопрочные коррозионно-стойкие стали, легированные азотом (сравнительный анализ) // Авиационные материалы и технологии. – 2014. – № 3. – С. 27–32.

7. Prokoshkina V. G., Kaputkina L. M., Lojnikov Yu. I. Thermomechanical Treatment of Nitrogen-Containing Corrosion Resistant Steels Various Structure Classes // Materials Science Forum. – 2003. – V. 426–432. – С. 969–974.
8. Банных О. А., Блинов В. М., Костина М. В. Исследования эволюции структуры азотистой коррозионно-стойкой аустенитной стали 06Х21АГ10Н7МФБ при термомеханическом и термическом воздействии // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 1 (45). – С. 9–20
9. Ikegami Y., Nemoto R. Effect of Thermo-mechanical Treatment on Mechanical Properties of High-nitrogen Containing Cr–Mn–Ni Austenitic Stainless Steels // ISIJ International. – 1996. – V. 36, N 7. – P. 855–861.
10. Исследование фазовых превращений в азотсодержащих сталях методом высокотемпературной рентгенографии / О. А. Банных, С. Я. Бецоффен, В. М. Блинов, А. А. Ильин, М. В. Костина и др. // Металлы. – 2006. – № 5. – С. 15–22.
11. Жуховицкий А. А., Шварцман Л. А. Физическая химия. – М.: Металлургия, 1976. – 687 с.
12. Тимофеев В. Н., Суховаров В. Ф., Блинов В. М., Пойменов И. Л. Структурные превращения в высокоазотистой аустенитной стали // Известия ВУЗов. Физика. – 1988. – Т. 31, № 6. – С. 32–36.
13. Калинин Г. Ю., Ямпольский В. Д. Влияние режимов горячей прокатки на структуру и упрочнение высокоазотистой коррозионно-стойкой маломагнитной стали 05Х19АГ10Н6МФБ // Вопросы материаловедения. – 2008. – № 1 (53). – С. 45–51.
14. Сагарадзе В. В., Печеркина Н. Л., Завалишин В. А., Филиппов Ю. И., Мушникова С. Ю., Калинин Г. Ю. Влияние скорости охлаждения в интервале 1100–800°С на механические свойства и структуру азотсодержащей аустенитной стали // Вопросы материаловедения. – 2011. – № 3 (67). – С. 45–12.
15. Физическое материаловедение / С. В. Грачев, В. Р. Бараз, А. А. Богатов и др. – Екатеринбург: Изд-во УГТИ-УПИ, 2001. – 534 с.
16. Мурадян С. О. Структура и свойства литейной коррозионно-стойкой стали, легированной азотом // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2016.
17. Костина М. В., Мурадян С. О., Хадыев М. С., Корнеев А. А. Исследование влияния термической обработки на структуру, фазовый состав и механические свойства новой литейной высокоазотистой коррозионно-стойкой Cr–Mn–Ni–Mo–N стали // Металлы. – 2011. – № 5. – С. 33–48.

УДК 669.14.018.298.22:621.039.534

НАУГЛЕРОЖИВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 09Х18Н9 В КОНТАКТЕ С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

А. С. КУДРЯВЦЕВ, канд. техн. наук, К. А. ОХАПКИН, канд. техн. наук

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

Статья поступила 9.03.2016, в окончательной редакции – 20.02.2017

Проведено исследование процесса науглероживания теплообменных труб из стали марки 09Х18Н9 в контакте с натриевым теплоносителем в условиях длительной эксплуатации при температуре 515°С. На основании экспериментальных данных о содержании углерода в поверхностном слое металла, определено значение эффективного коэффициента диффузии и выполнен расчет глубины науглероживания в диапазоне температур 450–515°С.

Ключевые слова: парогенератор, теплообменные трубы, натриевый теплоноситель, науглероживание, эффективный коэффициент диффузии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borgstedt H. U. Compability of steel No. 1.4970 with liquid sodium at high temperatures // Journal of Nuclear Materials. – 2003. – N 317. – P. 160–166.

2. Sudha C., Sivai Bharasi N., Anand R., Shaikh H., Dayal R. K., Vijayalakshmi M. Carburization behavior of AISI316LN austenitic stainless steel. Experimental studies and modelling // Journal of Nuclear Materials. – 2010. – V. 402. – P. 186–195.
3. Никитин В. И. Физико-химические явления при воздействии жидких металлов на твердые. – М.: Атомиздат, 1967.
4. Невзоров Б. А. Коррозия конструкционных материалов в натрии. – М.: Атомиздат, 1968.
5. Конструкционные материалы АЭС / Ю. Ф. Баландин, И. В. Горынин, Ю. И. Звездин и др. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
6. Карзов Г. П., Кудрявцев А. С., Марков В. Г., Гришмановская Р. Н., Трапезников Ю. М., Аняева М. А. Разработка конструкционных материалов для атомных энергетических установок на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 2 (82). – С. 23–33.
7. Могутнов Б. И., Томилин А. И. Шварцман Л. А. Термодинамика железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1972.
8. Sudha C., Sivai Bharasi N., Anand R., Shaikh H., Dayal R. K., Vijayalakshmi M. Carburisation behavior of AISI 316LN austenitic stainless steel. Experimental studies and modelling // Journal of Nuclear Materials. – 2010. – N 402. – P. 186–195.
9. Старков О. В., Трапезников Ю. М., Умняшкин Е. В. Оценка работоспособности конструкционных материалов в условиях переноса углерода в натриевом теплоносителе // Вопросы судостроения, серия Металловедение. – 1974. – Вып. 19. – С. 55–60.
10. Физическое металловедение. Вып. 2 / Под. ред. Р. Кана. – М.: Мир, 1968.
11. Пригожин И., Дефей Р. Химическая термодинамика. – Новосибирск: Наука, 1966.
12. Гаев И. С. Диффузия элементов в железе и стали. – 1958.
13. Кудрявцев А. С. Исследование взаимодействия сталей с жидкометаллическими теплоносителями в условиях эксплуатации теплообменного оборудования реакторов на быстрых нейтронах // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб, 2007.
14. Трапезников Ю. М. Исследование работоспособности теплоустойчивых перлитных сталей в парогенераторах атомных энергетических установок с натриевым теплоносителем // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1971.
15. Физические основы металловедения / Я. С. Уманский, Б. Н. Финкельштейн, М. Е. Блантер и др. – М.: Металлургиздат, 1955.

УДК 669.13.046.516

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА БРИКЕТИРОВАННЫМИ КАРБАМИДСОДЕРЖАЩИМИ МОДИФИКАТОРАМИ НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ СЕРОГО ЧУГУНА

Г. А. БАГЛЮК, д-р техн. наук, В. Я. КУРОВСКИЙ, Э. В. ЗАХАРЧЕНКО, канд. техн. наук
Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины,
ул. Кржижановского, 3, 03142 Киев, Украина

Статья поступила 5.09.2016, в окончательной редакции – 8.03.2017

Исследовано влияние компонентного состава и расхода карбамидсодержащих брикетированных модификаторов при ковшевом модифицировании расплава на основные механические свойства и структуру получаемых чугунов. Показана эффективность обработки расплава чугуна порошковыми брикетированными модификаторами, содержащими карбамид. Увеличение расхода брикетов, содержащих 8% карбамида, от 0,25 до 5–6% массы расплава приводит к существенному повышению прочности серого чугуна, практически на уровне прочности высокопрочных чугунов (около 490 МПа). С увеличением расхода брикетов от 1 до 6% степень усвоения азота снижается от 29 до 14% и растет склонность к отбелу. Морфология графитной фазы с ростом содержания азота в сплаве изменяется от смеси включений пластинчатой и вермикулярной формы до вермикулярной

формы частиц, количество и размер которых уменьшается в чугунах с большим содержанием азота. Матричная фаза чугуна при всех содержаниях азота имеет структуру тонкопластичного перлита.

Ключевые слова: чугун, модифицирование, азот, карбамид, отбел, прочность, графит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бигеев В. А., Щеголева Е. А., Букреев А. Е., Манашев И. Р. Перспективы производства лигатур на основе марганца и его сплавов для легирования стали азотом // Теория и технология металлургического производства. – 2013. – № 1 (13). – С. 34–36.
2. Zhao L., Maurer M., Lugscheider E. Thermal spraying of a nitrogen alloyed austenitic steel // Thin Solid Films. – 2003. – V. 424, N 2. – P. 213–218.
3. Ding H., Liu S., Zhang H., Guo J. Improving impact toughness of a high chromium cast iron regarding joint additive of nitrogen and titanium // Materials and Design. – 2016. – V. 90. – P. 958–968.
4. Матвеева О. Б. Белые износостойкие чугуны легированные марганцем, титаном и азотом // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2003. – № 1. – С. 29–32.
5. Шаповалова О. М., Матвеева О. Б. Влияние хрома, титана и азота на формирование структурных составляющих износостойких высокопрочных чугунов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2003. – № 1–2. – С. 71–76.
6. Матвеева О. Б., Хрычиков В. Е. Особенности формирования структуры высокопрочного комплексно легированного и азотированного чугуна // Вестник ХГТУ. – 2002. – Вып. 2. – С. 314–317.
7. Edington J., Nicola W., Richards V. L. Age Strengthening of Gray Cast Iron: Nitrogen Effects and Machinability // Transactions of the American Foundry Society. – 2002. – V. 110, Part 2. – P. 983–993.
8. Qi-Jie Z. Effect of Nitrogen in Cast Irons and Nitrogen-Containing High-Strength Gray Iron // Modern Cast Iron. – 2001. – V. 2. – P. 9–14.
9. Захарченко Э. В., Захарченко А. Э. Перлитный азотистый чугун с вермикулярным графитом с повышенным содержанием серы // Кристаллизация и свойства высокопрочного чугуна в отливках. – Киев: Институт проблем литья АН УССР, 1990. – С. 140–146.
10. Хуснутдинов Г. Д., Моисеева Н. П. Коррозионно-стойкий аустенитный высокопрочный чугун ЧН9Г4ДЗШ // Процессы литья. – 2009. – № 5 – С. 42–47.
11. Крюкова О. Г., Чухломина Л. Н. О взаимодействии титанохромового ферросплава с азотом // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324, № 3. – С. 93–98.
12. Иванова Е. А., Наркевич Н. А., Миронов Ю. П., Белик С. И. Использование хромомарганцевого чугуна, легированного азотом, для получения износостойких покрытий методом электронно-лучевой наплавки // Физическая мезомеханика. Спец. выпуск. – 2006. – С. 161–164.
13. Бигеев В. А., Щеголева Е. А., Букреев А. Е., Манашев И. Р. Перспективы производства лигатур на основе марганца и его сплавов для легирования стали азотом // Теория и технология металлургического производства. – 2013. – № 1 (13). – С. 34–36.
14. Автухов А. К. Исследование влияния продувки азотом на формирование структуры металла рабочего слоя прокатных валков исполнения ЛПХНМ // Russian Internet Journal of Industrial Engineering. – 2015. – V. 3, N 4. – P. 9–12.
15. Зборщик А. М., Кулиш Ю. Ю. Влияние нитридообразования на эффективность использования десульфуратора при инжектировании магния в чугун азотом // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. – 2012. – Випуск 1(14)–2(15). – С. 20–30.
16. Sun H., Liu Y.-C., Lu M.-J. Thermodynamic and Kinetic Analysis of Nitrogenization in Desulfurization of Hot Metal by Magnesium Injection // Iron and Steel Institute Japan International. – 2009. – V. 49, N 6. – P. 771–776.
17. Бигеев В. А., Щеголева Е. А., Букреев А. Е., Манашев И. Р. Перспективы производства лигатур на основе марганца и его сплавов для легирования стали азотом // Теория и технология металлургического производства. – 2013. – № 1 (13). – С. 34–36.
18. Пат. 43747 У Україна, МПК (2009) С22С 35/00. Азотовмісна лігатура / Панченко Г. М., Учитель О. Д., Гасик М. І. – Опубл. 25.08.2009 // Бюл. № 16.

19. Хуснутдинов Г. Д., Зеленый Б. Г. Исследование параметров обработки чугуна нитридом магния // Процессы литья. – 2009. – № 4. – С. 24–30.
20. Получение высокопрочного чугуна с применением брикетированных модификаторов // В. И. Литовка, В. А. Маслюк, В. Я. Куровский и др. // Литейное производство. – 2003. – № 8. – С. 7–12.
21. Kurovskiy V. Ya., Bagliuk G. A. The features of cast iron treatment with briqueted powder modifiers in manufacturing of forming rolls // 10th International Congress "Machines, technologies, materials". Proceedings. V. 1, 10–12 September 2013. – Varna, Bulgaria. – 2013. – P. 93–96.
22. Баглюк Г. А., Куровський В. Я., Шинський О. Й. Вплив режимів пресування порошкових модифікаторів на кінетику їх розчинення в розплаві чавуну // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. – 2010. – № 59. – С. 27–30.
23. Суслó Н. В., Панченко А. Н. Азотсодержащие брикет-модификаторы для чугуна и стали // Разработка рудных месторождений. Научно-техн. сборник. – 2011. – Вып. 94. – С. 239–241.
24. Пат. 18224444 АЗ (СССР). Компактированный реагент для обработки расплава чугуна / Захарченко Э. В., Захарченко Л. Э., Клименко В. Н., Куровский В. Я., Ляпунов А. П. – Оpubл. 15.06.1993 // Бюл. № 22.

УДК 669.245:621.785:620.17

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛА ЛОПАТОК ТУРБИН ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК МЕТОДАМИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА УПРОЧНЯЮЩИХ ФАЗ И ИССЛЕДОВАНИЙ ЛОКАЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ю. П. ТАРАСЕНКО, канд. физ.-мат. наук, С. В. КИРИКОВ, О. Б. БЕРДНИК, канд. физ.-мат. наук,
Л. А. КРИВИНА

ФГБУН «Институт проблем машиностроения РАН» – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН» (ИПМ РАН),
603024, Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 85. E-mail: npktribonika@yandex.ru

Статья поступила 12.01.2017

Объектом исследования является рабочая лопатка 1-й ступени ротора турбины газотурбинного двигателя ГТЭ-45-3 из жаропрочного никелевого сплава ЭП800ВД в постэксплуатационном состоянии с фактической наработкой 14 000 ч и после проведения восстановительной термической обработки.

Предметами исследования являются параметры распределения упрочняющей интерметаллидной γ' -фазы и локальные механические свойства материала, определяемые в разных термонагруженных зонах в постэксплуатационном состоянии и после проведения восстановительной термической обработки.

Цель работы – определение возможности регенерации структуры материала после эксплуатации методами количественной оценки параметров микроструктуры сплава и исследований локальных механических свойств в разных термонагруженных зонах лопатки.

Методы исследования – количественный металлографический анализ, электронная микроскопия, измерения твердости и микротвердости, релаксационные испытания локальных прочностных свойств, испытания на ползучесть.

Установлено, что деградация локальных механических свойств материала протекает в различных термонагруженных зонах лопатки с разной интенсивностью и связана с процессами коагуляции и растворения упрочняющей интерметаллидной γ' -фазы. Количественные методы исследования микроструктуры, в частности упрочняющих фаз жаропрочных никелевых сплавов, являются достаточно информативными и позволяют оценивать состояние материала в целом.

Ключевые слова: лопатки турбин, жаропрочный никелевый сплав, легирующие элементы, интерметаллидная фаза, механические свойства, релаксация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Reyhani M., Alizadeh M. Fathi A., Khaledi H. Turbine blade temperature calculation and life estimation – a sensitivity analysis // Propulsion and Power Research. – 2013. – V. 2. – P. 148–161.
2. Сипатов А. М., Гомзиков Л. Ю. Оценка теплового состояния рабочей лопатки турбины высокого давления на основе трехмерного моделирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – № 4 (12). – С. 215–226.
3. Kubaszka A., Bachnio J. The assessment of changes in the microstructure of a gas turbine blade with a non-destructive thermographic method // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – V. 19. – P. 148–161.
4. Тарасенко Ю. П., Бердник О. Б., Кириков С. В., Перевезенцев В. Н. О структурных изменениях никелевого сплава ЭИ893 при эксплуатации // Письма о материалах. – 2014. – № 4 (4). – С. 279–282.
5. Казанский Д. А. Разработка критериев эксплуатационной надёжности для рабочих и направляющих лопаток современных газовых турбин // Электрические станции. – 2012. – № 2. – С. 36–40.
6. Давыдов Д. И., Виноградова Н. И., Казанцева Н. В., Степанова Н. Н. Исследование структуры двух никелевых жаропрочных сплавов после высокотемпературной деформации // Физика металлов и материаловедение. – 2015. – № 2 (116). – С. 210–218.
7. Скуднов В. А., Чегуров М. К. Релаксация в металлах и сплавах. – Нижний Новгород: НГТУ, 2010. – 25 с.
8. Одинг И. А., Иванова В. С., Бурдукский В. В., Геминев В. Н.. Теория ползучести и длительной прочности металлов. – М.: Металлургия. – 1959. – 488 с.
9. Москвитин В. В. Пластичность при переменных нагрузениях. – М.: МГУ, 1965. – 266 с.
10. Инструкция по продлению срока службы металла основных элементов турбин и компрессоров энергетических газотурбинных установок СО 153-34.17.448–2003. Стандарт ОАО РАО ЕЭС URL: http://gostisnip.ru/dokumenty/standarty_organizacii_rao_ees_rossii_so/so_153-3417448-2003.

УДК 669.27/29:669.018.45

ТУГОПЛАВКИЕ МОНОКАРБИДЫ И ДИБОРИДЫ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г. С. БУРХАНОВ, чл.-корр. РАН, В. А. ДЕМЕНТЬЕВ

ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН»,
119991, Москва, Ленинский проспект, 49. E-mail: dementiev47@mail.ru

Статья поступила 7.02.2017

Создание композиционных материалов нового поколения, работающих в экстремальных условиях, требует комплексного конструкторско-технологического и материаловедческого подхода. Одним из компонентов таких материалов могут быть монокарбиды и дибориды переходных металлов IV–VI групп периодической системы элементов – титана, циркония, гафния, ванадия, ниобия, тантала, а также их двойные системы. Большинство изоморфных пар монокарбидов и диборидов обладают неограниченной взаимной растворимостью. Особый интерес представляет система HfC–TaC. Соединение TaC–4HfC имеет температуру, превышающую 4000°C, что является рекордом тугоплавкости среди всех известных синтезированных веществ.

Ключевые слова: конструкционные материалы, композиционные материалы, углеродные материалы, тугоплавкие соединения, карбиды, бориды, кристаллизация, физико-химический анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурханов Г. С., Бурханов Ю. С. Современные подходы к созданию функциональных металлических материалов // Материаловедение. – 2008. – № 1. – С. 1–10.
2. Горынин И. В., Орыщенко А. С., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. Инновационный путь – стратегия развития Центрального научно-исследовательского института конструкционных материалов «Прометей» // Металлург. – 2009. – № 10. – С. 8–12.
3. Бурханов Г. С., Киселева Н. Н. Прогнозирование интерметаллических соединений // Успехи химии. – 2009. – Т. 78, № 6. – С. 615–634.
4. Прохоров А. М., Лякишев Н. П., Бурханов Г. С., Дементьев В. А. Высокочистые бориды переходных металлов – перспективные материалы современной техники // Неорганические материалы. – 1996. – Т. 32, № 11. – С. 1365–1371.
5. Бурханов Г. С., Кузьмищев В. А., Шнырев Г. Д. Плазменное выращивание тугоплавких монокристаллов. – М.: Металлургия, 1981. – 200 с.
6. Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы: получение, свойства, применение // V Ставеровские чтения: труды научно-технической конференции с международным участием, 15–16 октября 2009 г., Красноярск / Под ред. В. Е. Редькина. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – С. 498.
7. Шулаев В. М. Высоко- и сверхтвердые наноматериалы на основе тугоплавких соединений // Материалы XII Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в промышленности России», Москва, ОАО ЦНИТИ «Технология», 2006, 7–9 сентября. – С. 460–468.

УДК 669.293'782.065.5

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НИОБИЙКРЕМНИЕВОГО ЭВТЕКТИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОМ ОХЛАДИТЕЛЕ

Ю. А. БОНДАРЕНКО, д-р техн. наук, М. Ю. КОЛОДЯЖНЫЙ, А. Б. ЕЧИН, канд. техн. наук,
А. Н. РАЕВСКИХ

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

Статья поступила 17.02.2017

Исследованы структура и свойства ниобийкремниевого композита, полученного при направленной кристаллизации в жидкометаллическом охладителе (метод LMC). Рассмотрена естественно-композиционная микроструктура слитка после направленной кристаллизации, проведен анализ состава фаз композита Nb–Si, определен уровень кратковременной прочности при 20 и 1200°C и длительной прочности при 1200°C.

Ключевые слова: направленная кристаллизация; жаропрочный эвтектический сплав; структура эвтектического композита; силицид ниобия; твердый раствор ниобия; кратковременная прочность; длительная прочность.

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. Научный вклад в создание авиационных двигателей. В 2-х кн. / Под общ. ред. В. А. Скибина, В. И. Солонина. – М.: Машиностроение, 2000. – 750 с.
3. Каблов Е. Н., Петрушин Н. И., Светлов И. Л., Демонис И. М. Никелевые литейные жаропрочные сплавы нового поколения // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С. 36–52.

4. Каблов Е. Н., Бондаренко Ю. А., Каблов Д. Е. Особенности структуры и жаропрочных свойств монокристаллов <001> высокорениевого никелевого жаропрочного сплава, полученного в условиях высокоградиентной направленной кристаллизации // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. – № 4. – С. 25–31.
5. Каблов Е. Н., Бондаренко Ю. А., Ечин А. Б., Сулова В. А., Каблов Д. Е. Развитие процесса направленной кристаллизации лопаток ГТД из жаропрочных и интерметаллидных сплавов с монокристаллической структурой // *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение*. – 2011. – № SP2. – С. 20–25.
6. Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии, покрытия. 2-е изд. / Под общ. ред. Е. Н. Каблова. – М.: Наука, 2006. – 632 с.
7. Бондаренко Ю. А., Каблов Е. Н. Направленная кристаллизация жаропрочных сплавов с повышенным температурным градиентом // *МиТОМ*. – 2002. – № 7. – С. 20–23.
8. Бондаренко Ю. А., Ечин А. Б., Колодяжный М. Ю. Особенности формирования естественно-композиционной структуры эвтектического сплава Nb–Si при направленной кристаллизации в жидкометаллическом охладителе // *Электрометаллургия*. – 2016. – № 11. – С. 2–8.
9. Оспенникова О. Г, Подъячев В. Н., Столянков Ю. В. Тугоплавкие сплавы для новой техники // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2016. – № 10. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 06.02.2017 г.). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-10-5-5.
10. Solidification processing of high temperature intermetallic eutectic-based alloys / B. P. Bewlay, M. R. Jackson, J. A Sutcliffe e. a. // *Material Science and Engineering*. – 1995. – Part 2, N 192/193. – P. 534–543.
11. Bewlay B.P., Jackson M.R., Lipsitt H.A. The Balance of Mechanical and Environmental Properties of a Multielement Niobium-Niobium Silicide-Based In-Situ Composite // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 1996. – V. 27A, No. 12. – P.3801–3808.
12. Bewlay B. P., Jackson M.R., Subramanian P.R. Processing high temperature refractory metal-silicide in situ composites // *Journal of Metals (JOM)*. – 1999. – V. 51, N 4. – P. 32–36.
13. Guo X. P., Guan P., Ding X., Zhang J., Kusabiraki K., and Fu H. Z. Unidirectional Solidification of a Nb_{ss} / Nb₅Si₃ in-situ Composite // *Materials Science Forum*. – 2005. – V. 475–479. – P. 745–748.
14. Chang K. M., Bewlay B. P., Sattley J. A., Jackson M. R. Cold-crusible directional solidification of refractory Metal-Silicide Eutectics // *Journal of Metals (JOM)*. – 1992. – V. 44, N 6. – P. 59.
15. Bewlay B. P., Jackson M. R., Gigliotti M. F. X. Niobium silicide high temperature in situ composites // *Intermetallic Compounds, Principles and Practice* / Ed. by J. H. Westbrook, R. I. Fleicher. – 2002. – V. 3. – P. 541–560.
16. Tanaka R., Kasama A., Fujikura M., Iwanaga I., Tanaka H., Motsumuro Y. Research and development of niobium-based superalloys for hot components of gas turbines // *Proceeding of the International Gas Turbine Congress, 2003*. – P. 1–5.
17. Bewlay B. P., Jackson M. R., Zhao J. C., Subramanian P. R., Mendiratta M. G., Lewandowski J. Ultra high temperature Nb-Silicide-based composites // *MRS Bulletin*. – 2003. – V. 28, N 9. – P. 646–653.
18. Бондаренко Ю. А., Каблов Е. Н., Панкратов В. А. Особенности получения рабочих лопаток малогабаритных ГТД из сплавов типа ВКЛС-20 // *Авиационная промышленность*. – 1993. – № 2. – С. 9–10.
19. Бондаренко Ю. А., Ечин А. Б., Сулова В. А., Нарский А. Р. Влияние температурного градиента на структуру жаропрочного сплава при его направленной кристаллизации // *Литейщик России*. – 2014. – № 5. – С.24–28.
20. Ечин А. Б., Бондаренко Ю. А., Битюцкая О. Н., Нарский А. Р. Влияние переменного температурного градиента на дисперсность структуры Re-содержащего сплава // *Литейное производство*. – 2015. – № 10. – С. 33–36.
21. Бондаренко Ю. А. Перспективы технологии направленной кристаллизации крупногабаритных рабочих лопаток наземных газовых турбин // *Материаловедение*. – 1998. – № 7. – С. 21–25.

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ ЛИТЬЯ МИКРОПРОВОДОВ 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

Статья поступила 28.12.2016

Исследован процесс изготовления микропроводов в стеклянной изоляции с точки зрения стабилизации химического состава и параметров процесса литья. На основании этого исследования разработан и реально освоен комбинированный способ, реализующий технологическое пополнение необходимого объема расплавленного металла за счет создания второй автономной дополнительной капли, в которой реализуются такие же физико-химические процессы, что и в основной капле. Это позволяет существенно повысить производительность процесса литья микропроводов.

Ключевые слова: микропровода, литье в стеклянной изоляции, физико-химические процессы, стабилизация химического состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литой микропровод и его свойства / Е. Я. Бадинтер и др. – Кишинев: Штиинца, 1973. – 317 с.
2. Масайло Д. В., Смелов А. И., Песков Т. В. Фармаковский Б. В. Разработка железо- и термо-резистивных сплавов для литья микропроводов // Вопросы материаловедения. – 2014.– № 3 – С. 73–78.
3. Патент RU №2424349 / Б. В. Фармаковский и др. Аморфный сплав на основе никеля для литья микропроводов. – 2011.
4. Литой микропровод и его применение в науке и технике / Под ред. акад. Д. В. Гуцу. – Кишинев: Штиинца, 1988. – 425 с.
5. 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.
6. Масайло Д. В., Кузнецов П. А., Фармаковский Б. В. Высокопрочные литые микропровода для армирования конструкционных композитов // Металлообработка. – 2012. – № 4. – С. 23–27.

АНАЛИЗ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР, ФОРМИРУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ НИТРИДА ТИТАНА

О. С. ЮЛЬМЕТОВА¹, канд. техн. наук, М. А. ТУМАНОВА¹, А. Г. ЩЕРБАК¹, д-р техн. наук,
Р. Ф. ЮЛЬМЕТОВА², канд. хим. 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, пр. Кронверкский, 49
Статья поступила 12.01.2017

Представлены результаты исследований состава, структуры и оптических свойств пленок, формирующихся на поверхности покрытия из нитрида титана после многопроходной лазерной обработки. Определены режимы формирования растрового рисунка контрастностью 0,14–0,6 на длине волны 860 нм без изменения шероховатости базовой поверхности.

Показаны особенности модификации поверхности, обусловленные тем, что с увеличением числа проходов лазером происходит насыщение пленки нитрида титана кислородом с образованием оксида титана в виде анатазной и рутильной фаз, а также формированием оксинитрида титана формулы $TiO_{0.3}N_{0.7}$. Процесс фазовых превращений сопровождается ростом структурных

фрагментов и изменением цвета пленки. Толщина модифицированного слоя после четырехпроходной лазерной обработки составляет порядка 0,5–0,7 мкм.

Ключевые слова: нитрид титана, лазерная обработка поверхности, оптический контраст, стехиометрия, оксинитриды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Prodanov L., Lamers E., Wolke J., Huiberts R., Jansen J. A., Walboomers X. F. // In vivo comparison between laser-treated and grit blasted/acid etched titanium // Clin. Oral Implants Res. – 2014. – N 25. – S. 234–239.
2. Bonse J., Höhm S., Rosenfeld A., Krüger J. Sub-100-nm laser-induced periodic surface structures upon irradiation of titanium by Ti: sapphire femtosecond laser pulses in air // Appl. Phys. A Mater. Sci. Process. – 2013. – N 110. – P. 547–551.
3. Tribological performance of femtosecond laser-induced periodic surface structures on titanium and a high toughness bearing steel / J. Bonse, R. Koter, M. Hartelt, D. Spaltmann, S. Pentzien, S. Hohm, e. a. // Appl. Surf. Sci. – 2015. – N 336. – P. 21–27.
4. Controlled nanostructures formation by ultra fast laser pulses for color marking / B. Dusser, Z. Sagan, H. Soder, N. Faure, J. P. Colombier, M. Jourlin, e. a. // Opt. Express. – 2010. – N 18. – P. 2913–2924.
5. Controlled oxide films formation by nanosecond laser pulses for color marking / V. Veiko, G. Odintsova, E. Ageev, Y. Karlagina, A. Loginov, A. Skuratova, et al. // Opt. Express. – 2014. – N 22. – P. 2434–2442.
6. Veiko V., Odintsova G., Gorbunova E., Ageev E., Shimko A., Karlagina Y., Andreeva Y. Development of complete color palette based on spectrophotometric measurements of steel oxidation results for enhancement of color laser marking technology // Materials & Design. – 2016. – N 89. – P. 684–688.
7. Amara E. H., Haïd F., Noukaz A. Experimental investigations on fiber laser color marking of steels // Appl. Surf. Sci. – 2015. – N 351. – P. 1–12.
8. Antończak A. J., Stępak B., Koziół P. E., Abramski K. M. The influence of process parameters on the laser-induced coloring of titanium // Appl. Phys. A. – 2013. – N 115. – P. 1003–1013.
9. Пат. RU № 2498224 от 05.06.2012. Способ изготовления ротора электростатического гироскопа / О. С. Юльметова, А. Г. Щербак, В. П. Вейко и др. Опубликовано 10.11.2013.
10. Юльметова О. С., Щербак А. Г., Белаш А. А., Ландау Б. Е., Филиппов А. Ю. Сравнительная оценка электрофизических и электрохимических способов создания рисунка на роторах электростатических гироскопов // Металлообработка. – 2016. – № 4(94). – С. 39–46.
11. Ландау Б. Е. Электростатический гироскоп со сплошным ротором // Гироскопия и навигация. – 1993. – № 1. – С. 6–12.
12. Юльметова О. С., Валетов В. А., Щербак А. Г. Применение пучковых технологий при изготовлении узлов гироскопических приборов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – № 4 (58). – С. 308–311.
13. Управление контрастностью растрового рисунка при лазерной маркировке: моделирование технологического процесса / О. С. Юльметова, А. Г. Щербак, В. П. Вейко и др. // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. – № 6 (58). – С. 485–490.
14. Щербак А. Г., Беляев С. Н. Влияние структурно-фазовых изменений модифицируемого слоя на оптические характеристики растровых рисунков при лазерном маркировании // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 1(85). – С. 44–52.
15. Kononenko T. V., Konov V. I., Loubnin E. N., Pimenov S. M., Romano V., Weber H. P. Non-stoichiometric laser ablation of TiN coatings // Laser Physics. – 2001. – N 11. – P. 606–609.
16. Швейкин Г. П., Алямовский С. И., Зайнулин Ю. Г., Гусев А. И., Губанов В. А., Курмаев Э. З. Соединения переменного состава и их твердые растворы. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 291 с.
17. Greczynski G., Mraz S., Hultman L., Schneider J. M. Venting temperature determines surface chemistry of magnetron sputtered TiN films // Applied Physics Letters. – 2016. – N. 108. – P. 041603-1–041603-5.

18. Войтович Р. Ф. Окисление карбидов и нитридов. – Киев: Наукова думка, 1981. – 192 с.

19. Зайнулин Ю. Г., Алямовский С. И., Швейкин Г. П., Некоторые структурные особенности кубических (типа NaCl) оксинитридов титана // Изв. АН СССР. Сер. Неорган. материалы. – 1976. – № 8. – С. 1396–1399.

УДК 661.961.6

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТРАНСПОРТАБЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ СИНТЕЗ-ГАЗА

Ю. В. ЗАГАШВИЛИ¹, д-р техн. наук, А. А. ЛЕВИХИН², канд. техн. наук,
А. М. КУЗЬМИН³, канд. техн. наук, Ю. В. АНИСКЕВИЧ², канд. техн. наук,
О. В. ВАСИЛЬЕВА⁴, канд. техн. наук

¹ ООО «ВТР», 194223, Санкт-Петербург, пр. М. Тореза, 40 1 лит.а, пом.2-н.
E-mail: zagashvili@yandex.ru

² ФГБОУ ВПО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург,
1-я Красноармейская ул., 1

³ ООО «ГСГ», 195297, Санкт-Петербург, ул. Ольги Форш, д. 15, к. 1, кв. 49

⁴ НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru

Статья поступила 18.01.2017

Рассмотрены физическая модель и устройство газогенератора синтез-газа конструкции ООО «ВТР», а также особенности конструкции смесительной головки – наиболее ответственного элемента газогенератора. Приведены результаты исследований установившихся режимов парциального окисления в камере сгорания газогенератора для различных сочетаний компонентов сырья – окислитель. Выявлены закономерности влияния основных параметров режима – коэффициента избытка окислителя, степени обогащения воздуха, степени увлажнения сырья, давления в камере сгорания, температуры нагрева компонентов – на балансовые соотношения продуктов неполного сгорания. Показана возможность получения синтез-газа требуемого состава и параметров для синтеза конечных целевых продуктов (водород, метанол и др.).

Ключевые слова: парциальное окисление углеводородного сырья, малотоннажное производство синтез-газа, газогенератор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные и перспективные технологии производства водорода. Отчет-справочник. Вып. 2. – СПб.: ООО «Прима-Химмаш», 2015. – 327 с.

2. Производство водородных установок и строительство водородной инфраструктуры в промышленно развитых странах. Технично-инвестиционные показатели установок и водородных станций. Отчет-справочник. Вып. 2. – СПб.: ООО «Прима-Химмаш», 2015. – 226 с.

3. Исследование состояния и перспектив направлений переработки нефти и газа, нефте- и газохимии в РФ / В. И. Фейгин, О. Б., Брагинский, С. А. Заболотский и др. – М.: Эконинформ, 2011. – 806 с.

4. Арутюнов В. С., Крылов О. В. Окислительные превращения метана. – М.: Наука, 1998. – 370 с.

5. Арутюнов В. С. Окислительная конверсия природного газа. – М.: Красанд, 2011. – 590 с.

6. Хасин А. А. Основные пути переработки природного газа в компоненты топлив и ценные химические продукты. Учебное пособие. – Новосибирск: Ред.-изд. центр НГУ, 2015. – 100 с.

7. Лapidус А. Л., Голубева И. А., Крылов И. Ф., Жагфаров Ф. Г. Основные направления переработки природного газов в химические продукты // Технологии нефти и газа. – 2009. – № 5. – С. 3–6.

8. Синтез-газ: совершенствование методов получения из углеводородного сырья. Многоцелевая газификация. – ГП «Черкасский научно-исследовательский институт технико-экономической информации и химической промышленности». – Черкассы, Украина, 2009. – 385 с.
9. Радченко Р. В., Мокрушин А. С., Тюльпа В. В. Водород в энергетике. Учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 229 с.
10. Мордкович В. З., Синева Л. В., Кульчаковская Е. В., Асалиева Е. Ю. Четыре поколения технологии получения синтетического жидкого топлива на основе синтеза Фишера-Тропша. Исторический обзор // Катализ в промышленности. – 2015. – № 5. – С. 23–45.
11. Махлин В. А., Цецерук Я. Р. Современные технологии получения синтез-газа из природного и попутного газа // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 3. – С. 6–17.
12. Крылов О. В. Углекислотная конверсия метана в синтез-газ // Российский химический журнал. – 2000. – Т. XLIV, № 1. – С. 19–33.
13. Технология автотермического риформинга для современных крупнотоннажных метанольных установок / П. Ю. Даль, Т. С. Кристенсен и др. // Международная конференция «Азот и синтез-газ-2014», Париж, 2014. – 14 с.
14. Новые концепции развития малотоннажной газохимии / В. С. Арутюнов, В. И. Савченко, И. В. Седов и др. // Нефтегазохимия. – 2014. – № 4. – С. 19–23.
15. Бакиров Ф. Г., Захаров В. М., Полещук И. М., Шайхутдинов З. Г. Образование и выгорание сажи при сжигании углеводородных топлив. – М.: Машиностроение, 1989. – 128 с.
16. Образование высокодисперсной сажи при получении синтез-газа в условиях горения метана / И. В. Билера, А. А. Борисов, А. Б. Борунова и др. // Газохимия. – 2010. – № 3 (13). – С. 72–78.
17. Савченко Г. Б. Способ получения водорода на основе критических технологий // Насосы. Турбины. Системы. – 2014. – № 1. – С. 21–26.
18. Буркальцев В. А., Дорофеев А. А., Новиков А. А. Проектные и поверочные расчеты камеры и газогенератора жидкостного ракетного двигателя. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 76 с.
19. Загашвили Ю. В., Ефремов В. Н., Кузьмин А. М., Лищинер И. И. Комплекс получения синтез-газа для малотоннажного производства метанола // НефтеГазоХимия. – 2017. – 76 с.
20. Филимонов Ю. Н., Анискевич Ю. В. Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях // СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2014. – 102 с.
21. Филимонов Ю. Н., Анискевич Ю. В. Внутрикамерные процессы ЖРД. – СПб.: ВВМ, 2007. – 196 с.
22. Филимонов Ю. Н., Анискевич Ю. В. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. – СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2011. – 180 с.
23. Анискевич Ю. В., Красник В. В., Филимонов Ю. Н. Выбор режимных параметров процесса парциального газофазного окисления метана кислородом воздуха с целью получения синтез-газа требуемого состава // Журнал прикладной химии. – 2009. – Т. 82, вып. 8. – С. 1335–1341.
24. Пат. РФ №2191743. Способ получения синтез-газа и устройство для его осуществления / Плаченнов Б.Т., Барунин А.А., Колбановский Ю.А., Красник В.В., Лебедев В.Н., Пинчук В.А., Филимонов Ю.Н., Шевчук В.Т.
25. Пат. РФ №2286327. Способ получения моторных топлив / Плаченнов Б. Т., Филимонов Ю. Н., Красник В.В., Анискевич Ю.В. и др.
26. Пат. РФ №2325426. Способ переработки углеводородного сырья / Плаченнов Б. Т., Филимонов Ю.Н., Анискевич Ю.В. и др.
27. Пат. РФ №2369431. Реактор для получения непредельных углеводородов, преимущественно этилена / Анискевич Ю. В., Филимонов Ю. Н., Сенатов Ю. И. и др.
28. Пат. РФ №2521377. Способ получения синтез-газа / Филимонов Ю. Н., Анискевич Ю. В., Красник В. В., Загашвили Ю. В.
29. Пат. РФ №2441183. Способ термического обезвреживания хлорсодержащих органических веществ и устройство для его осуществления / Кузьмин А. М., Филимонов Ю. Н., Юнаков Л. П., Малышев В. В., Косотуров С. А.

30. Пат. РФ №2523824. Устройство для получения синтез-газа/ Филимонов Ю. Н., Анискевич Ю. В., Красник В. В., Загашвили Ю. В., Галаджун А. А.
31. Пат. РФ №2534991. Устройство для получения непредельных углеводородов, преимущественно этилена/ Филимонов Ю. Н., Анискевич Ю. В., Красник В. В., Загашвили Ю. В., Мячин С. И., Шавалеев Д. А.
32. Пат. РФ №2535121. Устройство генератора синтез-газа / Филимонов Ю. Н., Анискевич Ю. В., Красник В. В., Загашвили Ю. В.
33. Пат. РФ № 2561077. Способ получения водорода из углеводородного сырья / Филимонов Ю. Н., Загашвили Ю. В., Савченко Г. Б., Левихин А. А.
34. Отчет о НИР: Теоретическое исследование режимных параметров и облика нового генератора синтез-газа, разработка автоматизированной системы контроля и управления и конструкторской документации генератора. – // ООО «ГСГ». – СПб. : 2016 г. – 115 с. URL: <http://www.rosrid.ru/nioktr/JDBZNL5ANBV1BU08S31MDOVM> (дата обращения 11.12.2016).
35. Глушко В. П. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания. Т. 1. – М.: ВИНТИ АН СССР, 1971. – 263 с.
36. Головина Е. С. Высокотемпературное горение и газификация углерода. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 176 с.
37. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД / Пер. с англ. / Под ред. В. Е. Дорошенко. – М.: Мир, 1986. – 566 с.
38. Померанцев В. В., Арефьев К. М., Ахмедов Д. Б. Основы практической теории горения: Учебное пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.– 312 с.
39. Загашвили Ю. В., Анискевич Ю. В., Кузьмин А. М., Левихин А. А., Савченко Г. Б. Управление технологическим процессом получения синтез-газа в высокотемпературном реакторе // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – Т. 16, № 10. – С. 704–709.
40. Загашвили Ю. В., Савченко Г. Б., Филимонов Ю. Н. Идентификация статических характеристик газогенератора синтез-газа // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – Т. 16, № 8. – С. 556–563.
41. Новая технология получения водорода / Gasworld. – 2016. – Вып. 48 (март–апрель). – С. 20. – URL: www.gasworld.ru //
42. Программа "Машиностроение" от 11 марта 2016 года URL: <http://www.vesti.ru/videos/show/vid/673353/#> (дата обращения 11.12.2016).
43. Голосман Е. З., Нечуговский А. И., Андросов П. Д. Активация и эксплуатация промышленных катализаторов серии НТК-10 // Химическая промышленность сегодня. – 2006. – № 5. – С. 28–33.
44. Юрков М. А. Микроплазменное напыление объемно-пористых покрытий для катализаторов паровой конверсии углеводородного сырья в водородсодержащее топливо и водоактивируемых химических источников тока // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», 2011. – 24 с.

УДК 621.891:621.785.53

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЕТАЛИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ МЕТОДОМ ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Л. А. КРИВИНА, И. Н. ЦАРЕВА, канд. физ.-мат. наук

ФГБУН «Институт проблем машиностроения РАН» – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН» (ИПМ РАН),
603024, Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 85. E-mail: npktribonika@yandex.ru

Статья поступила 6.02.2017

Объект исследования – деталь высокоскоростной пары трения «игла – подпятник» газовой центрифуги (иглы из стали У10) в состоянии до и после эксплуатации и исходные иглы после облучения ионами C^+ различными дозами на частотно-импульсном ускорителе «Радуга».

Цель работы – выбор оптимального режима имплантации ионов C^+ рабочей зоны скольжения иглы для повышения работоспособности узла трения «игла – подпятник» газовой центрифуги.

Методы исследования – металлографический анализ, измерение микротвердости, определение коэффициента трения и износостойкости.

Установлено, что после частотно-импульсной имплантации дозой 10^{18} cm^{-2} ионов C^+ достигается оптимальное сочетание физико-механических и трибологических свойств поверхности рабочей части иглы, обеспечивающее повышение износостойкости при работе пары трения «игла – подпятник».

Данный метод поверхностной обработки рекомендуется для использования при эксплуатации пары трения «игла – подпятник» с целью повышения работоспособности и ресурса работы высокоскоростной пары трения газовой центрифуги.

Ключевые слова: пара трения, игла, ионная имплантация, микротвердость, коэффициент трения, износостойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасенко Ю. П., Сорокин В. А., Кривина Л. А. Модернизация элементов пары трения иглы и подпятника // Прикладная механика и технологии машиностроения: Сборник научных трудов. – 2009. – № 31(14). – С. 181–187.
2. Тарасенко Ю. П., Сорокин В. А., Кривина Л. А. Модернизация пары трения «игла–подпятник» // Сборник трудов юбилейной конференции ИМАШ РАН «Проблемы машиноведения». – М., 2008. – С. 531–536.
3. Овчинников В. В., Боровин Ю. М. Ионная имплантация поверхностных деталей машин // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2011. – № 6. – С. 29–39.
4. Сорокин В. А., Кривина Л. А., Тарасенко Ю. П., Перевезенцев В. Н. Модифицирование элементов пары трения «игла–подпятник» // Современные технологии модифицирования поверхностей деталей машин. – М.: Ленанд, 2013. – С. 200–210.
5. Доценко В. А. Изнашивание твердых тел. – М., 1990. – 192 с.
6. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. Кн. 1. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.

УДК 621.793.7:669.718

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ХГДН ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ПОРОШКА АЛЮМИНИЯ

А. М. МАКАРОВ, Д. А. ГЕРАЩЕНКОВ, канд. техн. наук, А. Ф. ВАСИЛЬЕВ

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

Статья поступила 9.02.2017

Разработаны практические рекомендации по использованию метода холодного газодинамического напыления для получения функциональных покрытий в условиях производства. На примере алюминиевого порошка марки АСД-1 оптимизированы температурно-скоростные параметры процесса, обеспечивающие высокую адгезию и твердость покрытия при максимальной производительности и высоком коэффициенте использования порошка.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, функциональные покрытия, температурно-скоростные параметры, условия производства, алюминиевый порошковый материал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алхимов А. П., Клинков С. В., Косарев В. Ф., Фомин В. М. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – С. 536.

2. Irissou E., Legoux J.-G., Arsenault B., Moreau C. Investigation of Al–Al₂O₃ Cold Spray Coating // Thermal Spray Technol. – 2007. – V. 16, N 5–6. – P. 661–668.
3. Meydanoglu O., Jodoin B. Kayali E. S. Microstructure, mechanical properties and corrosion performance of 7075 Al matrix ceramic particle reinforced composite coatings produced by the cold gas dynamic spraying process // International Thermal Spray Conference (ITSC), Hamburg, 2011.
4. Guo X., Zhang G., Li W. Y., Dembinski L., Gao Y., Liao H., Coddet C. Microstructure, microhardness and dry friction behavior of cold-sprayed tin bronze coatings // Applied Surface Science. – 2007. – V. 254, N 5. – P. 1482–1488.
5. Li W.-Ya, Li C.-Ji., Liao H., Coddet C. Effect of heat treatment on the microstructure and microhardness of cold-sprayed tin bronze coating // Applied Surface Science. – 2007. – V. 253, N 14. – P. 5967–5971,.
6. Кудинов В. В., Бобров Г. В., Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. – М.: Металлургия, 1992. – P. 432.
7. 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,.
8. Лясников В. Н., Украинский В. С., Богатырев Г. Ф. Плазменное напыление покрытий в производстве изделий электронной техники. – Саратов: Изд-во Саратов.ун-та, 1985.
9. Борисов Ю. С., Харламов Ю. А., Сидоренко С. Л., Ардатовская Е. Н. Газотермические покрытия из порошковых материалов. – Киев: Наукова думка, 1987.
10. Марков М. А., Красиков А. В., Геращенко Д. А., Макаров А. М., Быкова А. Д., Орданьян С. С. Синтез износостойких керамических покрытий на стальных материалах с комплексным использованием методов сверхзвукового гетерофазного переноса и микродугового оксидирования // Огнеупоры и техническая керамика. – 2016. – № 10. – С. 30–35.

УДК 621.793.7:621.762

ИЗНОСОСТОЙКИЕ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ МЕТАЛЛ – НЕМЕТАЛЛ

Т. И. БОБКОВА, Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук

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

Статья поступила 17.02.2017

Разработана технология получения износостойких коррозионно-стойких функционально-градиентных покрытий методом микроплазменного напыления композиционных наноструктурированных порошков.

Микротвердость полученных покрытий достигает 10,27 ГПа, что обеспечивает эффективную защиту деталей и узлов прецизионного машиностроения в экстремальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: матричный материал, механосинтез, композиционный порошок, микроплазменное напыление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в нанотехнологию / В. И. Марголин, В. А. Жабров и др. – СПб.: Лань, 2012. – 464 с.
2. Фармаковский Б. В., Бобкова Т. И. Металломатричные композиционные порошки для газотермического напыления функционально-градиентных покрытий с регулируемой твердостью // Материалы 12-й Международной конференции «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка», Институт порошковой металлургии, Минск, Республика Беларусь, 25–27 мая 2016 г. – С. 188–191.

3. Гордиенко А. И., Ивашко В. В., Вегера И. И. Разработка и применение функционально-градиентных материалов. Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-primenenie-funksionalno-gradientnyh-materialov>.
4. Пат. РФ № 2573309 от 08.07.2014. Способ получения композиционного армированного порошкового материала / Бобкова Т. И., Юрков М. А., Черныш А. А., Елисеев А. А., Деев А. А., Климов В. Н., Самоделкин Е. А. Опубликовано 20.01.2016 // Бюл. № 2.
5. Соколов Ю. В. Плазменное формообразование. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 198 с.
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. Измерение механических свойств методом инструментального индентирования в соответствии с ГОСТ Р 8.748–2011 (ISO 14577-1:2015). Электронный ресурс. Режим доступа: <http://nanoscan.info/metodiki/nanoindentirovanie>. Дата обращения: 17.02.2017.
8. Мазеева А. К., Рамалданова А. А., Яковлева Н. В., Геращенко Е. Ю., Фармаковский Б. В., Бобкова Т. И. Изучение наноструктурного состояния функциональных покрытий различного класса с помощью оперативных методов контроля // Межвузовский сборник научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов». Вып. 4, Тверь 2012. – С. 181–188.
9. Кузнецов Н. Т., Новоторцев В. М., Жабров В. А., Марголин В. И. Основы нанотехнологии: Учебник. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 397 с.
10. Коррозия металлов. Термины. ГОСТ 5272–68. Дата последнего изменения: 23.06.2009. Электронный ресурс «Каталог государственных стандартов». Режим доступа: <http://www.gostbaza.ru/?gost=18172>. Дата обращения 17.02.2017.
11. Горынин И. В., Орыщенко А. С., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А. Перспективные исследования и разработки научного нанотехнологического центра ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области новых наноматериалов // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 2(78). – Р. 118–128.

УДК 621.793.7

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КВАЗИКРИСТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ СВЕРХЗВУКОВОГО ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук, Д. А. ГЕРАЩЕНКОВ, канд. техн. наук,
Р. Ю. БЫСТРОВ, А. Ф. ВАСИЛЬЕВ, И. В. УЛИН, канд. техн. наук, Т. И. БОБКОВА

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

Статья поступила 20.02.2017

Разработана технология получения функционально-градиентных покрытий квазикристаллического соединения Al₆₅–Cu₂₃–Fe₁₂ с помощью технологии сверхзвукового холодного газодинамического напыления. Покрытия обладают высоким уровнем твердости (выше 220 HV) и износостойкости (менее 1,6·10⁻⁹ мкм/км) и могут использоваться в парах трения, судовой арматуре, ответственных конструкционно-функциональных элементах транспортной техники и энергетических систем.

Ключевые слова: функционально-градиентные покрытия, сверхзвуковое холодное газодинамическое напыление, квазикристаллическая структура

ЛИТЕРАТУРА

1. Векилов Ю. Х., Исаев Э. И. Структура и физические свойства квазикристаллов // Сб. докладов Первого всероссийского совещания по квазикристаллам, 2003. – С. 5–9.
2. Исследование динамики образования квазикристаллической фазы в системе Al–Cu–Fe с помощью мессбауэровской спектроскопии / А. М. Бризкало, Г. В. Ласкова, М. Н. Михеева и др. // Сб. докладов Первого всероссийского совещания по квазикристаллам, 2003. – С. 39–45.

3. Векилов Ю. Х., Черников М. А. Квазикристаллы // Успехи физических наук. – 2010. – Т. 180, № 6. – С. 561–586.
4. Lück, R., Kek, S. J. Magnetothermal analysis of the decagonal phases $Al_{65}Cu_{20}Co_{15}$ and $Al_{70}Ni_{15}Co_{15}$ // Non-Crystalline Solids. – 1993. – V. 153–154. – P. 329–333.
5. Фармаковский Б. В., Улин И. В. Функциональные материалы и покрытия – пути и надежды // По пути созидания. Т. 2. – СПб.: ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», 2009. – С. 149–163.
6. Геращенко Д. А., Фармаковский Б. В., Васильев А. Ф., Машек А. Ч. Исследование температуры потока в процессе холодного газодинамического напыления функциональных покрытий // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 2(77). – С. 87–96.
7. 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.
8. Пат. № 2362839 RU. Способ нанесения наноструктурированных электропроводящих покрытий / Фармаковский Б. В. и др., 2009.
9. Саунин В. Н., Телегин С. В., Ковалькова В. П. Квазикристаллы, перспективы применения, способ получения // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнева. – 2009. – № 22. – С. 80–83.
10. Введение в нанотехнологию / В. И. Марголин, В. А. Жабрив и др. – СПб.: Лань, 2012. – 464 с.
11. Орыщенко А. С., Геращенко Д. А. Алюмоматричные функциональные покрытия с высокой микротвердостью, полученные из композиционных порошков системы Al–Sn + Al_2O_3 , методом холодного газодинамического напыления // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 3(83). – С. 100–107.

УДК 621.791.92:621.762

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО ИЗНОСОСТОЙКОГО СЛОЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА СИСТЕМЫ Fe–Ni, АРМИРОВАННОГО НАНОПОРОШКОМ WC

Н. А. СОКОЛОВА¹, Т. И. БОБКОВА¹, Е. Ю. ГЕРАЩЕНКОВА¹,
Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ¹, канд. техн. наук, М. А. ЮРКОВ², канд. техн. наук

¹НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015 Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru

²ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»
(ФГУП «ВИАМ»), 105005, Москва, ул. Радио, д. 17. E-mail: admin@viam.ru

Статья поступила 6.03.2017

Проведено комплексное исследование наплавленного износостойкого слоя, нанесенного на элементы конструкции сельскохозяйственной техники. Описана методика совмещения данных, полученных со сканирующего зондового и сканирующего электронного микроскопов.

Ключевые слова: наплавка, сканирующая зондовая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, микротвердость, карбидные фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Сидоров С. А., Хорошенков В. К., Миронов Д. А., Родионова И. Г., Кузнецов П. А., Голосиенко С. А., Бобкова Т. И., Деев А. А., Чернобаев С. П., Пичужкин С. А., Рябов В. В., Кудрявцева И. В., Юрков М. А. Применение наноматериалов для рабочих органов почвообрабатывающих машин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2013. – № 3. – 75 с.
2. Марголин В. И., Потапов А. А., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А. Развитие нанотехнологий на основе нанокompозитов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТИ, 2016. – 190 с.

3. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др. – М.: Машиностроение, 2003. – 469 с.
- 4 Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: Часть 2 // Материалы 10-й Международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С 577.
5. Перспективные направления развития науки в Петербурге / Под ред. Ж. И. Алферова и др. – СПб.: Изд-во «ИП Пермьяков С. А.», 2015. – 543 с.
6. Мазеева А. К., Рамалданова А. А., Яковлева Н. В., Бобкова Т. И., Геращенко Е. Ю., Фармаковский Б. В. Изучение наноструктурного состояния функциональных покрытий различного класса с помощью оперативных методов контроля // Межвузовский сборник научных трудов. – 2012. – Вып. 4.
7. Измерение механических свойств методом инструментального индентирования в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 (ISO 14577-1:2015)», электронный ресурс. Режим доступа <http://nanoscan.info/metodiki>
8. Микротвердомеры цифровые DM8, электронный ресурс. Режим доступа <http://td-str.ru/file.aspx?id=4488>
9. Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1996. – С. 992.
10. Савицкий Е. М., Поварова К. Б., Макаров П. В. Металловедение вольфрама. – М.: Наука, 1987. – 223 с.
11. Чаплыгин Ф. И., Самсонов Г. В., Витрянюк В. К. Карбиды вольфрама (диаграмма состояния, кристаллическое и электронное строение структурных фаз системы W–C). Обзор. Ч. I. – Киев, 1974.
12. Курлов А. С., Гусев А. И. Физика и химия карбидов вольфрама. – М.: Физматлит, 2014.
13. Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Ч. 1 / Под ред. П. А. Витязя и др. – Минск: Беларусь Навуко, 2013. – С. 83–90
14. Савицкий Е. М., Бурханов Г. С. Металловедение сплавов тугоплавких и редких металлов. – М.: Наука, 1971. – 356 с.

УДК 621.762.5

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ ПОРОШКА НА ОСНОВЕ СТАЛИ 316L

Б. К. БАРАХТИН, канд. физ.-мат. наук, В. В. БОБЫРЬ, А. В. ВОЗНЮК, А. А. ДЕЕВ,
А. С. ЖУКОВ, П. А. КУЗНЕЦОВ, д-р техн. наук

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

Статья поступила 8.12.2016, в окончательной редакции – 11.05.2017

Методом селективного лазерного сплавления были изготовлены стандартные образцы на основе металлического порошка нержавеющей стали 316L. Исследования показали наличие строгой зависимости механических свойств от режимов сплавления порошка, скорости перемещения лазера и положения создаваемого объекта на платформе сплавления. Определены оптимальные режимы сплавления, позволяющие получить уровень механических свойств спеченного металла выше уровня свойств монолитных образцов

Ключевые слова: порошковые смеси, селективное лазерное сплавление, механические свойства, направление построения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sedlaka J., Rican D. Study of Materials Produced by Powder Metallurgy Using Classical and Modern Additive Laser Technology // Procedia Engineering. – 2015. – N 100. – P. 1232 – 1241.

2. Hussein A., Hao L. Advanced lattice support structures for metal additive manufacturing // Journal of Materials Processing Technology. – 2013. – N 213. – P. 1019–1026.
3. Di Wang, Yongqiang Yang, Study on the designing rules and processability of porous structure based on selective laser melting (SLM) // Journal of Materials Processing Technology. – 2013. – N 213. – P. 1734–1742.
4. Ganesh P., Giri R. Studies on pitting corrosion and sensitization in laser rapid manufactured specimens of type 316L stainless steel // Materials and Design. – 2012. – N 39. – P. 509–521.
5. Kwok C.T., Lo K.H. Effect of laser surface melting on intergranular corrosion behaviour of aged austenitic and duplex stainless steels // Corrosion Science. – 2011. – N 53. – P. 1581–1591.
6. Khalfallah I. Y., Rahoma M. N., Abboud J. H., Benyounis K. Y. Microstructure and corrosion behavior of austenitic stainless steel treated with laser // Optics and Laser Technology. – 2011. – N 43. – P. 806–813.
7. Hanzl P., Zetek M., Bakša T., Kroupa T. The Influence of Processing Parameters on the Mechanical Properties of SLM Parts // Procedia Engineering. – 2015. – N 100. – P. 1405–1413.
8. Кузнецов П. А., Зисман А. А., Петров С. Н., Гончаров И. С. Структура и механические свойства аустенитной стали 316L, полученной методом селективного лазерного сплавления // Деформация и разрушение материалов. – 2016. – № 4. – С. 9–13.
9. Yadroitsev I., Krakhmalev P., Yadroitseva I. Hierarchical design principles of selective laser melting for high quality metallic objects // Additive Manufacturing. – 2015, July. – V. 7. – P. 45–56. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2014.12.007>
10. Riemer A., Leuders S., Thöne M., Richard H.A., Tröster T., Niendorf T. On the fatigue crack growth behavior in 316L stainless steel manufactured by selective laser melting // Engineering Fracture Mechanics. – 2014. – V. 120, April. – P. 15–25.

УДК 678.7:539.4

АРАМИДНЫЕ ОРГАНОПЛАСТИКИ ДЛЯ КОРПУСОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Г. Ф. ЖЕЛЕЗИНА, канд. техн. наук, С. И. ВОЙНОВ, Т. Д. КАРИМБАЕВ, канд. техн. наук,
А. А. ЧЕРНЫШЕВ

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

Статья поступила 28.12.2016

Рассмотрена проблема выбора материалов, обеспечивающих непробиваемость корпуса вентилятора авиационного двигателя при отрыве лопатки. Исследованы физико-механические характеристики, эксплуатационные свойства, стойкость арамидных слоисто-тканых органопластиков к высокоскоростному ударному воздействию, в том числе после воздействия факторов внешней среды. Применение арамидных слоисто-тканых органопластиков в конструкции корпуса вентилятора позволит улучшить их весовые и защитные характеристики в соответствии с постоянно возрастающими требованиями к современным авиационным двигателям.

Ключевые слова: органопластик, арамидные волокна, полимерные композиты, авиационный двигатель, баллистическая стойкость, ударная стойкость.

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. – С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33
2. Куртеев В. А., Мозеров Б. Г., Соколовский М. И., Иноземцев А. А. Оценка защитной способности корпуса вентилятора турбореактивного двигателя // Вестник Пермского национального ис-

следовательского политехнического университета // *Аэрокосмическая техника*. – 2015. – № 1(40). – С. 22–43.

3. Каблов Е. Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // *Металлы Евразии*. – 2012. – № 3. – С. 10–15.

4. Каблов Е. Н. *Материалы и химические технологии для авиационной техники* // *Вестник Российской академии наук*. – 2012. – Т. 82. – № 6. – С. 520–530.

5. Гуняев Г. М., Кривонос В. В., Румянцев А. Ф., Железина Г. Ф. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов // *Конверсия в машиностроении*. – 2004. – № 4 (65). – С. 65–69.

6. Пат. US 5160248 США. Слои с улучшенной ударной стойкостью к посторонним предметам для использования в корпусе вентилятора газотурбинного двигателя: Оpubл. 03.11.1992.

7. Гращенков Д. В., Чурсова Л. В. Стратегии развития композиционных и функциональных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – № 5. – С. 231–241.

8. Пат. US 5344280 США; Ударостойкий слой для корпуса вентилятора. Оpubл. 06.09.1994.

9. Железина Г. Ф. Конструкционные и функциональные органопластики нового поколения // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2013. – № 4. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 21.10.2016).

10. Шульдешова П. М., Железина Г. Ф. Влияние атмосферных условий и запыленности среды на свойства конструкционных органопластиков // *Авиационные материалы и технологии*. – 2014. – № 1. – С. 64–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-64-68.

11. Войнов С. И., Железина Г. Ф., Соловьева Н. А., Ямщикова Г. А. Влияние внешней среды на свойства органопластика, полученного методом пропитки под давлением (RTM) // *Авиационные материалы и технологии*. – 2015. – № 4. – С. 72–78. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-4-72-78.

12. Пат. US 5516257 США. Структура устройства сдерживания лопаток вентилятора авиационного двигателя. Оpubл. 14.05.1996.

13. Железина Г. Ф., Войнов С. И., Черных Т. Е., Черных К. Ю. Новые арамидные волокна Rycar HT для армирования конструкционных органопластиков // *Вопросы материаловедения*. – 2015. – № 1(81). – С. 60–72.

14. Каблов Е. Н. *Материалы и технологии ВИАМ для «Авиадвигателя»* // ИБ «Пермские авиационные двигатели». – 2014. – № 31. – С. 43–47.

15. Пат. US 6053696 Канада; Ударостойкая композиционная оболочка для корпуса вентилятора авиационного двигателя. Оpubл. 25.04.2000.

16. Пат. US 6652222 Канада. Конструкция корпуса вентилятора с металлической пеной между слоями кевлара. Оpubл. 25.11.2003.

17. Roberts G. D., Revilock D. M.; Binienda W. K., Nie W. Z., Mackenzie S. B., Todd K. B. Impact Testing and Analysis of Composites for Aircraft Engine Fan Cases // *J. Aerosp. Eng.* – 2002. – № 15. – P. 104–110.

18. Шульдешова П. М., Железина Г. Ф. Арамидный слоисто-тканый материал для защиты от баллистических и ударных воздействий // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2014. – № 9. – Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 22.06.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-6-6.

19. Железина Г. Ф., Соловьева Н. А., Орлова Л. Г., Войнов С. И. Баллистически стойкие арамидные слоисто-тканые композиты для авиационных конструкций // *Все материалы. Энциклопедический справочник. Композиционные материалы*. – 2012. – № 12. – С. 23–26.

20. Пат. РФ № 2318030 Россия. Препрег и стойкое к удару и баллистическому воздействию изделие, выполненное из него. Оpubл. 27.02.2008.

21. Железина Г. Ф., Шульдешова П. М. Конструкционные органопластики на основе пленочных клеев // *Клеи. Герметики. Технологии*. – 2014. – № 2. – С. 9–14.

22. Железина Г. Ф. Особенности разрушения органопластиков при ударных воздействиях // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – № 5. – С. 272–277.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ В УСЛОВИЯХ ИЗГИБА

И. С. ДЕЕВ, канд. техн. наук, Е. В. КУРШЕВ, С. Л. ЛОНСКИЙ

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

Статья поступила 28.03.2017

Методами микроструктурного и фрактографического анализов исследованы закономерности и механизм разрушения эпоксидных стеклопластиков после длительного (до 5 лет) старения в различных климатических зонах – в условиях промышленной зоны умеренного климата Москвы (МЦКИ); умеренного теплого климата Геленджика (ГЦКИ) и теплого влажного климата Сочи (ГНИП РАН) – с последующими испытаниями на статический изгиб. Изучали структуру лицевой и тыльной поверхностей, а также характер разрушения в условиях изгиба образцов стеклопластиков до старения и после натурной экспозиции на открытом стенде (под углом 45°). Были установлены общие закономерности и особенности разрушения стеклопластиков в условиях изгиба после длительного старения в различных климатических зонах.

Ключевые слова: стеклопластики, длительное климатическое старение, макро- и микроструктура, сканирующая электронная микроскопия, прочность при изгибе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. – 2012. – Т. 82, № 6. – С. 520–530.
2. Композиционные материалы: Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др. / Под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
3. Ракитина В. П., Кавун Н. С., Кириллов В. Н., Деев И. С., Топунова Т. Э., Ефимов В. А. Исследование климатической стойкости эпоксидных стеклотекстолитов, применяемых в сотовых и монолитных конструкциях самолетов / Сб. докл. VI научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2006». Часть II. Москва, 2006. – С. 109–116
4. Старцев О. В., Мелетов В. П., Деев И. С., Цинцадзе Г. Б., Базенкова Е. Н., Перов Б. В. // Атмосферное старение армированных термопластов / В сб. «Вопросы авиационной науки и техники. Авиационные материалы». – М., ВИАМ, 1990. – С. 52–58
5. Kenig S., Moshonov A., Shucrun A., Marom G. Environmental effects on shear delamination of fabric-reinforced epoxy composites // Int. J. Adhesion and Adhesives. – 1989. – V. 9, № 1 (January).
6. Каблов Е. Н. России нужны материалы нового поколения // Редкие земли. – 2014. – № 3. – С. 8–13.
7. Каблов Е. Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. 2012. № 3. С. 10–15.
8. 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.
9. Влияние климатических факторов на механические свойства эпоксидных боро- и углеродных композитов / Г. М. Гуняев, В. А. Ярцев, Е. А. Митрофанова, М. А. Кузнецова и др. // Авиационные материалы. Научно-технический сборник / Под общ. ред. Р. Е. Шалина. Вып. 2: Неметаллические композиционные материалы, ОНТИ, 1977. – С. 96–104.
10. Исследование климатической стойкости эпоксидных стеклотекстолитов, применяемых в сотовых и монолитных конструкциях самолетов / В. П. Ракитина, Н. С. Кавун, В. Н. Кириллов, И. С. Деев и др. // Сборник докладов VI научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2006». Часть II, Москва, 2006. – С. 109–116.

11. Тарнопольский Ю. М., Кинцис Т. Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. – М.: Химия, 1981.
12. Булманис В. Н., Ярцев В. А., Кривонос В. В. Работоспособность конструкций из полимерных композитов при воздействии статических нагрузок и климатических факторов // *Механика композитных материалов*. – 1987. – № 5. – С. 915–920.
13. Кириллов В. Н., Кавун Н. С., Ракитина В. П., Топунова Т. Э., Деев И. С., Ефимов В. А., Мазаев П. Ю. Исследование влияния тепловлажностного воздействия на свойства эпоксидных стеклотекстолитов // *Пластические массы*. – 2008. – № 9. – С. 14–18.
14. Старцев О. В., Прокопенко К. О., Литвинов А. А., Кротов А. С., Аниховская В. И., Дементьева Л. А. Исследование термовлажностного старения авиационного стеклопластика. // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. – 2010. – № 1. – С. 21–25.
15. Каблов Е. Н., Старцев О. В., Кротов А. С., Кириллов В. Н. Климатическое старение полимерных композиционных материалов авиационного назначения. Значимые факторы // *Деформация и разрушение материалов*. – 2011. – № 1. – С. 34–40.
16. Андреева Н. П., Павлов М. Р., Шведкова А. К., Николаев Е. В. Климатические испытания по оценки стойкости материалов к условиям морского арктического и субарктического климатов // *Новости материаловедения. Наука и техника*. – 2016. – № 6. – С. 3–12.
17. Каблов Е. Н., Деев И. С., Ефимов В. А., Кавун Н. С., Кобец Л. П., Никишин Е. Ф. Влияние атмосферных факторов и механических напряжений на микроструктурные особенности разрушения полимерных композиционных материалов // *Сборник докладов VII научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2008»*. Часть II. Москва, 2008. – С. 279–286.
18. Деев И. С., Кобец Л. П. Исследование микроструктуры и особенностей разрушения эпоксидных полимеров и композиционных материалов на их основе. Ч. 1 // *Материаловедение*. – 2010. – № 5. – С. 8–16.
19. Деев И. С., Кобец Л. П. Исследование микроструктуры и особенностей разрушения эпоксидных полимеров и композиционных материалов на их основе. Ч. 2 // *Материаловедение*. – 2010. – № 6. – С. 13–18.
20. Деев И. С., Куршев Е.В., Лонской С.Л., Железина Г.Ф. Влияние длительного климатического старения на микроструктуру поверхности эпоксидных органопластиков и характер ее разрушения в условиях изгиба // *Вопросы материаловедения*. – 2016. – № 3 (87). – С. 104–114.
21. Деев И. С., Куршев Е.В., Лонской С.Л., Железина Г.Ф. Влияние длительного климатического старения на микроструктуру и характер разрушения в объеме эпоксидных органопластиков в условиях силового воздействия (изгиба и сжатия) // *Вопросы материаловедения*. – 2016. – № 4 (88). – С. 72–82.
22. Деев И. С., Кобец Л. П. Микроструктура эпоксидных матриц // *Механика композитных материалов*. – 1986. – № 1. – С. 3–8.
23. Деев И. С., Кобец Л. П. Исследование микроструктуры и микрополей деформаций в полимерных композитах методом растровой электронной микроскопии // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 1999. – Т. 65, № 4. – С. 27–34.
24. Деев И. С., Каблов Е. Н., Кобец Л. П., Чурсова Л. В. Исследование методом сканирующей электронной микроскопии деформации микрофазовой структуры полимерных матриц при механическом нагружении // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2014. – № 7. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 5.10.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-6-6.
25. Деев И. С., Кобец Л. П. «Торсионное» разрушение эпоксидных полимеров и матриц в полимерных композиционных материалах // *Сб. материалов IV международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов»*, Москва. 25–28 октября 2011. – М.: ИМЕТ РАН, 2011. – С. 596–597.
26. Деев И. С., Кобец Л. П. Структурообразование в наполненных терморезактивных полимерах // *Коллоидный журнал*. – 1999. – Т. 61, № 5. – С. 650–660.

АНТИФРИКЦИОННЫЕ УГЛЕПЛАСТИКИ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА

В. Е. БАХАРЕВА, д-р техн. наук, Ю. В. ЗЕЛЕНИН, канд. техн. наук,
Г. И. НИКОЛАЕВ, д-р хим. наук, И. В. НИКИТИНА, канд. хим. наук

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

Статья поступила 30.03.2017

Надежность эксплуатации техники в условиях Арктики и Крайнего Севера обеспечивается в большой степени применением в узлах трения хладостойких антифрикционных ПКМ. Дано описание разработанных ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» антифрикционных углепластиков на основе терморезистивных и термопластичной матриц, которые сохраняют свои механические и триботехнические свойства при низких и сверхнизких температурах, не нуждаются в масляной смазке и смазываются любой перекачиваемой жидкостью или сжиженным газом при температурах до -200°C .

Ключевые слова: антифрикционные углепластики, узел трения, реактопласты, термопласт, смазка рабочей жидкостью, северное исполнение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года / Интернет-ресурс: https://mines.gov-murman.ru/activities/strat_plan/ arkticzone/
2. Некипелов А. Д., Макоско А. А. Перспективы фундаментальных научных исследований в Арктике // Арктика: экология и экономика. – 2011. – № 4. – С. 14–21.
3. Большаков А. М., Захарова М. И. Научно-технические основы риск-анализа объектов нефтехимии в арктической зоне // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2014. – № 6. – С. 36–39.
4. Веретенников Н. П., Богачев В. Ф., Савельев А.Н. Геоэкономическое обоснование освоения энергетических и биологических ресурсов Арктики // Вестник МГТУ. – 2014. – Т. 17, № 3. – С. 459–464
5. Бахарева В. Е., Николаев Г. И. Современные машиностроительные материалы. Неметаллические материалы: Справ. / Под ред. И. В. Горынина, А. С. Орыщенко. – СПб.: НПО «Профессионал», 2012. – 916 с.
6. Горынин И. В. Конструкционные материалы для освоения Арктического шельфа // Вестник РАН. – 1999. – Т. 69, № 1. – С. 94–101.
7. Анисимов А. В. Полимерные композиционные материалы и средства защиты от коррозии для судостроения и кораблестроения // Новый оборонный заказ. – 2015. – № 3(35). – С. 78–79.
8. Ковальчук М. В. Арктический вектор энергетики России // Курчатовский институт – первый национальный исследовательский центр России. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2011. – С. 82–91.
9. Бахарева В. Е., Николаев Г. И., Орыщенко А. С. Антифрикционные углепластики для узлов трения скольжения // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 4(72). – С. 15–33.
10. Бахарева В. Е., Орыщенко А. С. Углепластики для деталей узлов трения оборудования, работающего в условиях Арктики и Крайнего Севера // СПб.: АНО ЛА «Профессионал», 2017. – 262 с.
11. Орыщенко А. С., Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Лишевич И. В. Подшипники скольжения из высокопрочных антифрикционных углепластиков в судостроении и энергомашиностроении // Вестник машиностроения. – 2012. – № 5. – С. 29–33.
12. Рубин М. Б., Бахарева В. Е. Подшипники в судовой технике: Справ. . – Л.: Судостроение, 1987. – 344 с.
13. Богун В. С., Бахарева В. Е., Анисимов А. В. Подшипники скольжения из антифрикционных углепластиков для центробежных насосов энергетических установок // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 1(61). – С. 60–66.

14. Рыбин В. В., Бахарева В. Е., Николаев Г. И., Анисимов А. В. Антифрикционные углепластики в машиностроении // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 1(45). – С. 178–191.
15. Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Савелов А. С., Пеклер К. В., Ильин С. Я., Моркин О. В. Создание макромоодифицированных фторопластом углепластиков для подшипников скольжения рабочих колес поворотно-лопастных гидротурбин // Вопросы материаловедения. – 2009. – № 1(57). – С. 17–26.
16. Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Лобынцева И. В., Петрова Л. В., Чурикова А. А. Бинарные опоры из модифицированных углепластиков для подшипников судовых валопроводов // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 2(46). – С. 22–27.
17. Горячева И. Г., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Лишевич И. В., Портянкин П. О. Высокоскоростные подшипники скольжения из антифрикционных углепластиков, работающих при температурах до 200°C, для насосов и паровых турбин // Проблемы импортозамещения Насосы. Турбины. Системы. – 2015. – № 4(17). – С. 3–15.
18. Бахарева В. Е., Николаев Г. И., Анисимов А. В. Улучшение функциональных свойств антифрикционных полимерных композитов для узлов трения скольжения // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества имени Д. И. Менделеева). – 2009. – Т. LIII, №4. – С. 4–10.
19. Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Рыбин В. В., Савелов А. С. Модификация химического состава и степени гетерогенности полимерной матрицы и углеродных армирующих материалов с целью оптимизации триботехнических характеристик антифрикционных углепластиков // Вопросы материаловедения. – 2009. – № 3(59). – С. 217–229.
20. Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Лишевич И. В., Никитина И. В. Опыт отечественной школы по созданию подшипников из антифрикционных углепластиков для насосов, турбин, арматуры. // Проблемы импортозамещения. Насосы. Турбины. Системы. – 2015. – Часть 1: № 1(14). – С. 3–15; Часть 2: Вып. № 2(15). – С. 3–11.
21. Бахарева В. Е., Лишевич И. В., Саргсян А. С. Новый теплостойкий антифрикционный углепластик на основе полифениленсульфида для узлов трения, работающих без смазки и со смазкой перегретой водой // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 4(72). – С. 160–170.

УДК 678.067.2

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БРОНЕЗАЩИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

М. И. ВАЛУЕВА, канд. техн. наук

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

Статья поступила 28.02.2017, в окончательной редакции – 12.04.2017

Представлены материаловедческие аспекты создания бронезащитных изделий с применением современных технологий. Особое внимание уделено используемым в данной области полимерным композиционным материалам на основе текстильных армирующих наполнителей. Приведено описание оборудования и практических средств для проверки эффективности обеспечения бронезащиты.

Ключевые слова: полимерные композиты, армирующие наполнители, бронезащита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № S. – С. 7–17.
2. 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.

3. Михайлин Ю. А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. – СПб.: Научные основы и технологии, 2011. – 416 с.

4. Варакута В. Франко-Голландская война (1672–1678 гг.) – эпоха маневров, линейной тактики и морских батальонов // *Наука и техника*. – 2015. – № 9 (112). – С. 74–81.

5. Горбунов И. М. Современные технологии средств индивидуальной броневой защиты // *Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России*. – 2006. – № 3. – С. 26–28.

6. Горбунов И. М. Разработка композиционных наноструктурных материалов для средств индивидуальной бронезащиты // *Конструкции из композиционных материалов*. – 2007. – № 2. – С. 57–59.

7. Раскутин А. Е., Соколов И. И. Углепластики и стеклопластики нового поколения // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал*. – 2013. – № 4. Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 23.01.2017).

8. Хасанов О. Л., Двилис Э. С., Качаев А. А. Метод коллекторного компактирования нано- и полидисперсных порошков: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 102 с.

9. Хасанов О. Л., Двилис Э. С., Бикбаева З. Г., Качаев А. А., Полисадова В. В. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий: учебное пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 269 с.

10. Натрусов В. И., Шацкая Т. Е. Бронезащитные стеклопластиковые материалы // *Вестник академии военных наук*. – 2008. – № 3. – С. 26–28. URL: <http://militaryarticle.ru/vestnik-akademii-voennykh-nauk/2008-vavn/10747-bronezashhitnye-stekloplastikovye-materialy> (дата обращения 23.01.2017).

11. Мыльников В. В., Абросимов А. А., Романов И. Д., Романов А. Д. Анализ материалов и их свойств, применяемых для средств индивидуальной бронезащиты // *Успехи современного естествознания*. – 2014. – № 9. – С. 143–147.

12. Пат. 8236119 США № 12/539185. High strength ultra-high molecular weight polyethylene tape articles; заявл. 11.08.2009; опубл. 07.08.2012.

13. Пат. 8075979 США № 13/135536. Non-fibrous high modulus ultra high molecular weight polyethylene tape for ballistic applications; заявл. 08.07.2011; опубл. 13.12.2011.

14. Горбунов И. М. Перспективные материалы для средств индивидуальной бронезащиты // *Конструкции из композиционных материалов*. – 2006. – № 3. – С. 70–73.

15. Долганина Н. Ю., Сапожников С. Б. Проектирование новых конструкций тканевых бронепанелей с использованием суперкомпьютерных вычислений // *Вестник ЮУрГУ*. – 2011. – № 37. – С. 71–81.

16. Михайлин Ю. А. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен // *Полимерные материалы*. – 2003. – № 7. – С. 16–19.

17. Перепелкин К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. – М.: НОТ, 2009. – 380 с.

18. Кудрявцев Г. И., Варшавский В. Я., Щетинин А. М., Казаков М. Е. Армирующие химические волокна для композиционных материалов. – М.: Химия, 1992. – 236 с.

19. Шульдешова П. М., Железина Г. Ф. Арамидный слоисто-тканый материал для защиты от баллистических и ударных воздействий // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал*. – 2014. – № 9. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 23.01.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-6-6.

20. Скларова Г. Б., Новикова Л. А., Шаблыгин М. В., Любегина Е. В. Новые бикомпонентные полиамидимидной природы арамидные нити с улучшенными эластическими свойствами для средств баллистической защиты // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 32–35.

21. Михайлин Ю. А. Специальные полимерные композиционные материалы. – СПб.: Научные основы и технологии, 2014. – 664 с.
22. Михайлин Ю. А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. – СПб.: Профессия, 2006. – 624 с.
23. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. – М.: НОТ, 2015. – 822 с.
24. Железина Г. Ф. Конструкционные и функциональные органопластики нового поколения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал. – 2013. – № 4. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 23.01.2017).
25. Буланов Я. И., Курденкова А. В., Шустов Ю. С. Прогнозирование прочности тканей баллистического назначения при воздействии различных внешних факторов // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 6. – С. 147–150.
26. Сапожников С. Б., Левинский А. А. Использование композитных материалов на основе поликарбоната в защитных структурах // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – №12. – С. 187–193.
27. Kang T. J., Kim C. Y., Hong K. H. Rheological behavior of concentrated silica suspension and its application to soft armor // J. Appl. Polym. Sci. – 2012. – V. 124, N 2. – P. 1534–1541.
28. Шебанов С. М., Новиков И. К., Тимофеев К. Н. К возможности создания сверхлегких тканых бронепакетов для средств индивидуальной защиты на основе арамидных волокон Русар, СВМ, Тварон // Наука и мир. – 2014. – № 8. – С. 73–75.
29. Castaño V. M., Rodríguez R. Nanotechnology for ballistic materials: from concepts to products // J. Eng. Mater. Technol. – 2013. – V. 47. – N 3. – P. 267–271.
30. Каблов Е. Н. Тенденции и ориентиры инновационного развития России: Сб. информационных материалов. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ВИАМ. 2015. 720 с.
31. Сентюрин Е. Г., Мекалина И. В., Петрова А. П., Фролков Ю. А. Как создавалась прозрачная авиационная броня (к 70-летию Великой Победы) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал. – 2015. – № 5. Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 23.01.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-5-12-12.
32. Атапин В. Г., Родионов А. И., Рыков А. А., Титоренко В. П., Юрьев Г. С., Иванов Ю. А. Стенды и устройства для испытаний материалов и специзделий на ударные прочность и устойчивость // Научный вестник НГТУ. – 2009. – № 3. – С. 87–98.
33. Greenhalgh E. S., Bloodworth V. M., Iannucci L., Pope D. Fractographic observations on Dyneema® composites under ballistic impact // Composites. A. – 2013. – N 44. – P. 51–62.
34. Mo G., Wu Z., Liu K. Model for analyzing the permeability of the armor of a ceramic-polymer composite // J. Nanjing Univ. Sci. and Technol. Natur. Sci. – 2013. – V. 37, N 5. – P. 670–674.
35. ГОСТ Р 50744–95. Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 6 с.
36. Мыльников В. В., Абросимов А. А., Романов И. Д., Романов А. Д. Анализ материалов и их свойств, применяемых для средств индивидуальной бронезащиты // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 9. – С. 143–147.

УДК 669.715:621.791.75

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПО ЗАДАННОЙ ГЕОМЕТРИИ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ

В. А. КАРХИН, д-р техн. наук, П. Н. ХОМИЧ, канд. техн. наук,
О. В. ПАНЧЕНКО, канд. техн. наук, С. Ю. ИВАНОВ

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
195251 Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29*

Статья поступила 16.02.2017

Разработана методика определения установившегося температурного поля в твердой части свариваемого тела по заданной геометрии границы движущейся сварочной ванны путем решения задачи теплопроводности методом граничных элементов. Методика позволяет рассчитать эффективную мощность и тепловую эффективность источника теплоты. На примере дуговой сварки неплавящимся электродом со сквозным проплавлением алюминиевого сплава 1565ЧМУ толщиной 4 мм показаны распределения температурного градиента и скорости охлаждения на границе ванны. Совпадение расчетных и экспериментальных термических циклов удовлетворительное. Приведено распределение твердости в поперечном сечении стыкового соединения.

Ключевые слова: дуговая сварка, алюминиевый сплав, теплопроводность, метод граничных элементов, сварочная ванна, температурное поле, температурный градиент, скорость охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kumar A., Zhang W., Kim C. H., Debroy T. A smart bi-directional model of heat transfer and free surface flow in gas metal arc fillet welding for practicing engineers // *Mathematical Modelling of Weld Phenomena 7* / Н. Cerjak, Н.К.Д.Н. Bhadeshia, E. Kozeschnik (eds.). – Graz: Verlag der Technischen Universitaet Graz, 2005. – P. 3–37.
2. Karkhin V. A., Plochikhine V. V., Ilyin A. S., Bergmann H.W. Inverse modelling of fusion welding processes // *Welding in the World*. – 2002. – V. 46, N 11/12. – P. 2–13.
3. Кархин В. А., Хомич П. Н., Оссенбринк Р., Михайлов В. Г. Расчетно-экспериментальная методика определения температурного поля при лазерной сварке // *Сварочное производство*. – 2006. – № 10. – С. 3–6.
4. Кархин В. А. Тепловые процессы при сварке. 2 изд. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 572 с.
5. Махненко В. И., Петун Л. А., Прилуцкий В. П., Замков В. М. Оценка тепловых процессов вблизи движущейся сварочной ванны // *Автоматическая сварка*. – 1969. – № 11. – С. 1–6.
6. Radaj D. *Welding residual stresses and distortion. Calculation and measurement*. – Duesseldorf: DVS-Verlag, 2003. – 397 p.
7. Бреев В. К., Кархин В. А. Исследование методом граничных элементов влияния геометрической формы сварных соединений на траекторию трещин и параметры механики разрушения // *Автоматическая сварка*. – 1989. – № 1. – С. 11–18.
8. Hang M., Okada A. Computation of GMAW welding heat transfer with boundary element method // *Advances in Engineering Software*. – 1993. – V. 16. – P. 1–5.
9. Ghassabzadeh M., Ghassemi H., Nahali M. Study of welding temperature history by dual reciprocity boundary element method // *Modares Mechanical Engineering*. – 2011. – V. 11, № 3. – P. 95–103.
10. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
11. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов. – М.: Мир, 1987. – 524 с.
12. Зыков С.А. Влияние конструктивных и технологических факторов сварки на свойства сварных соединений из алюминиевых сплавов при криогенных температурах // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: ЦНИИ КМ «Прометей», 2016.