

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

- Орыщенко А. С., Малышевский В. А., Шумилов Е. А. Моделирование процессов упрочнения стали при термомеханической обработке 7
- Сыч О. В. Научно-технологические основы создания хладостойких сталей с гарантированным пределом текучести 315–750 МПа для Арктики. Часть 2. Технология производства, структура и характеристики работоспособности листового проката 14
- Казаков А. А., Фомина О. В., Житенев А. И., Мельников П. В. Физико-химические основы управления природой δ-феррита при сварке аустенитно-ферритными материалами 42
- Смирнов Л. А., Горбачев И. И., Попов В. В., Пасынков А. Ю., Орыщенко А. С., Калинин Г. Ю. Исследование растворимости азота в аустенитных азотистых сталях при выплавке и последующей кристаллизации с помощью CALPHAD-метода 53
- Будниченко М. А., Вайнер Л. М., Березанский Л. Е. Разработка и материаловедческое обоснование технологии холодной гибки деталей корпусов кораблей из высокопрочных сталей и сплавов методом локального деформирования 67
- Афанасьева Л. Е. Металлографический анализ гранул быстрорежущей стали М2 78

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Войнов С. И., Железина Г. Ф., Ильичев А. В., Соловьева Н. А. Исследование механических характеристик слоистого металлополимерного композиционного материала на основе листов алюминия и слоев углепластика 86
- Сухов Д. И., Неруш С. В., Юрков М. А., Амирджян Г. В. Исследования структуры и свойств металлопорошковых композиций из коррозионно-стойких сталей, полученных газовой атомизацией расплава и предназначенных для изготовления деталей методом селективного лазерного сплавления 97
- Князюк Т. В., Мотовилина Г. Д., Бобырь В. В., Рябов В. В. Влияние режимов порошковой лазерной наплавки на структуру и свойства износостойкого покрытия и новой среднеуглеродистой стали с пределом текучести 1500 МПа 107
- Васильев А. Ф., Виноградова Т. С., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В. Исследование влияния высокоскоростной УДА-обработки на свойства рентгеноконтрастных материалов 117
- Васильева О. В., Фармаковский Б. В., Хроменков М. В. Технология литья и свойства микропроводов из никеля 124
- Фармаковский Б. В. Резистивные литые микропровода на основе систем Ni–Cu и Pd–Cu со знакопеременным температурным коэффициентом сопротивления 130
- Веселовский А. А. Нанесение диффузионных никель-кобальтовых покрытий с использованием отвальных конверторных никелевых шлаков 136
- Сошина Т. О., Мухамадьярова В. Р. Дефекты эмалевого покрытия 145

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Могнонов Д. М., Тоневитский Ю. В., Аюрова О. Ж., Ильина О. В., Корнопольцев В. Н. Термические характеристики и физико-механические свойства ароматических полиамидинов и материалов на их основе 151
- Мельников Д. А., Петрова А. П., Дементьева Л. А., Ильичев А. В. Исследование механических свойств полимерных матриц на основе клеевых связующих 160
- Деев И. С., Куршев Е. В., Лонский С. Л., Комарова О. А. Влияние длительного климатического старения на микроструктуру и характер разрушения в объеме эпоксидных углепластиков в условиях силового воздействия (изгиба и сжатия) 170

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

- Кузьмин Ю. Л., Ставицкий О. А. Электрохимическая защита от коррозии стальной арматуры в железобетоне при эксплуатации в морской воде 185

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Марголин Б. З., Гуленко А. Г., Бучатский А. А., Сорокин А. А., Виленский О. Ю., Васильев Б. А. Основные принципы расчета прочности и ресурса оборудования реакторов на быстрых нейтронах типа БН с учетом деградации свойств материалов..... 191

ИСПЫТАНИЯ, ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ

Кузьмин Ю. Л., Ставицкий О. А., Лащевский В. О., Бобкова Т. И., Яньков А. Л. Контроль величины сцепления платинового покрытия при изготовлении платинониобиевых анодов методом магнетронного напыления 215

ХРОНИКА

Орыщенко А. С., Цуканов В. В., Савичев С. А., Милейковский А. Б., Нигматулин О. Э. Гомогенная броня в СССР в период 1920–1947 гг..... 221

Перечень статей, опубликованных в научно-техническом журнале «Вопросы материаловедения» в 2018 году..... 240

Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов 245

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

А. С. ОРЫЩЕНКО, д-р техн. наук, В. А. МАЛЫШЕВСКИЙ, д-р техн. наук, Е. А. ШУМИЛОВ

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

Поступила в редакцию 17.07.2018

После доработки 6.09.2018

Принята к публикации 11.09.2018

Рассмотрены вопросы моделирования на исследовательском комплексе Gleeble 3800 термомеханической обработки высокопрочных сталей с различными температурно-деформационными параметрами прокатки и с ускоренным охлаждением до заданной температуры. Установлена идентичность протекания процессов упрочнения стали на комплексе Gleeble 3800 и на специализированных прокатных станах, а также показана возможность получения сталей унифицированного химического состава.

Ключевые слова: термомеханическая обработка, пластическая деформация, наноструктурирование, фрагментация, легирование, унификация химического состава

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальчук М. В., Орыщенко А. С., Малышевский В. А., Петров С. Н., Шумилов Е. А. Проблемы создания технологичных экономнолегированных высокопрочных сталей для арктических конструкций // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 2 (90). – С. 7–16.
2. Ковальчук М. В., Орыщенко А. С., Малышевский В. А., Петров С. Н., Шумилов Е. А. К вопросу об унификации химического состава высокопрочных сталей для судостроения // Вопросы материаловедения. – 2018. – № 1 (93). – С. 7–14.
3. Козлов Э. В., Попова Н. А., Конева Н. А. Фрагментированная субструктура, формирующаяся в ОЦК-сталях при деформации // Известия РАН. – 2004. – Т. 68, № 10. – С. 1419–1427.
4. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка стали. Т. 2. – М.: Металлургия, 1983.
5. Горынин И. В., Хлусова Е. И. Наноструктурированные стали для освоения месторождений шельфа Северного Ледовитого океана // Вестник РАН. – 2010. – № 2. – С. 1069–1075.
6. Hanlon D. N., Van der Zwang S. J. S. The effect of plastic deformation of austenite on the kinetics of subsequent ferrite formation. ISN Int. – 2001. – N 9. – P. 1028–1036.
7. Зисман А. А., Петров С. Н., Пташник А. В. Количественная аттестация бейнитно-мартенситных структур высокопрочных сталей методами сканирующей электронной микроскопии // Металлург. – 2014. – № 11. – С. 91–95.
8. 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.
9. 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.
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. 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.
12. Орыщенко А. С., Малышевский В. А., Петров С. Н., Шумилов Е. А. Взаимосвязь уровня легирования, структуры и механических свойств высокопрочной стали // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2018. – Т. 61, № 3. – С. 179–186.

**НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ХЛАДОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ
С ГАРАНТИРОВАННЫМ ПРЕДЕЛОМ ТЕКУЧЕСТИ 315–750 МПа ДЛЯ АРКТИКИ.
Часть 2. Технология производства, структура и характеристики работоспособности
листового проката**

О. В. СЫЧ, канд. техн. наук

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

Поступила в редакцию 14.08.2018

После рецензирования 23.08.2018

Принята к публикации 24.08.2018

Представлены результаты разработки, реализации и внедрения в промышленных условиях совокупности научно-технологических приемов при термомеханической обработке с ускоренным охлаждением, закалке с прокатного или отдельного печного нагрева с высокотемпературным отпуском, обеспечивающих формирование структуры допустимой степени неоднородности и анизотропии по различным морфологическим и кристаллографическим параметрам по всей толщине листового проката до 100 мм из низколегированных сталей с пределом текучести не менее 315–460 МПа и до 60 мм из экономнолегированных сталей с пределом текучести не менее 500–750 МПа. Приведена структура листового проката, обеспечивающая получение гарантированных характеристик прочности, хладостойкости (работы удара KV при температурах испытаний от -60 до -80°C , критических температур вязкохрупкого перехода $T_{кв}$ и нулевой пластичности NDT) и трещиностойкости по критерию CTOD при низких температурах в соответствии с требованиями «Правил...» РМРС к стали с индексом «Arc40».

Ключевые слова: низколегированная сталь, экономнолегированная сталь, индекс «Arc», термомеханическая обработка, закалка, закалка с прокатного нагрева, отпуск, механические свойства, хладостойкость, работоспособность, трещиностойкость, параметры структуры, феррит, бейнит, мартенсит

ЛИТЕРАТУРА

1. Сыч О. В. Научно-технологические основы создания хладостойких сталей с гарантированным пределом текучести 315–750 МПа для Арктики. Часть 1. Принципы легирования и требования к структуре листового проката // Вопросы материаловедения. – 2018. – № 3 (95). – С. 22–47.
2. Горынин И. В., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. Принципы легирования, фазовые превращения, структура и свойства хладостойких свариваемых судостроительных сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2007. – № 1. – С. 9–15.
3. Горынин И. В., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. Хладостойкие стали для технических средств освоения арктического шельфа // Вопросы материаловедения. – 2009. – № 3(59). – С. 108–126.
4. Казаков А. А., Киселев Д. В. Современные методы оценки качества структуры металлов на основе панорамных исследований с помощью анализатора изображений Thixomet // Перспективные материалы: Учебное пособие. Т. 5. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет. – 2013. – 421 с.
5. Казаков А. А., Казакова Е. И., Киселев Д. В., Мотовилина Г. Д. Разработка методов оценки микроструктурной неоднородности трубных сталей // Черные металлы. – 2009. – № 12. – С. 12–15.
6. Горелик С. С., Добаткин С. В., Капуткина Л. М. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: Изд-во МИСиС. – 2005. – 432 с.
7. Рыбин В. В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 224 с.
8. Коджаспиров Г. Е., Рудской А. И., Рыбин В. В. Физические основы и ресурсосберегающие технологии изготовления изделий пластическим деформированием. – СПб.: Наука. – 2006. – 349 с.
9. Хастеркамп Ф., Хулка К., Матросов Ю. И., Морозов Ю. Д., Эфрон Л. И., Столяров В. И., Чевская О. Н. Ниобийсодержащие низколегированные стали. – М.: СП Интернет Инжиниринг. – 1999. – 94 с.

10. Рыбин В. В., Рубцов А. С., Коджаспиров Г. Е. Структурные превращения в стали при прокатке с различной степенью и дробностью деформации // Физика металлов и металловедение. – 1984. – Т. 58. – № 4. – С. 774–781.
11. Brown E. L., De Ardo A. J. On the origin of equiaxed austenite grains that result from the hot rolling of steel // Metallurgical Transactions. –1981. –V. 12A. – P. 39–47.
12. Сыч О. В., Круглова А. А., Счастливец В. М., Табатчикова Т. И., Яковлева И. Л. Влияние ванадия на дисперсионное упрочнение при отпуске высокопрочной трубной стали с различной исходной структурой // Физика металлов и металловедение. – 2016. –Т.117. – №12. – С.1321–1331.
13. Круглова А. А., Легостаев Ю. Л., Хлусова Е. И. Исследование температурно-деформационных режимов динамической рекристаллизации стали марки АБ-1 // Судостроительная промышленность. – 1988. – № 8. – С. 12–16.
14. Bianchi J. G., Kariainen L. P. Modelling of dynamic and metadynamic recrystallization during bar rolling of a medium carbon spring steel // Journal of Materials Processing Technology. – 2005. – N 160. – P. 267–277.
15. Olasolo M., Uranga P., Rodriguez-Ibabe J. M., Lypez B. Effect of austenite microstructure and cooling rate on transformation characteristics in a low carbon Nb–V microalloyed steel // Materials Science and Engineering A. – 2011. – V. 528. – P. 2559–2569.
16. Miao C. L., Shang C. J., Zhang G. D., Subramanian S.V. Recrystallization and strain accumulation behaviors of high Nb-bearing line pipe steel in plate and strip rolling // Materials Science and Engineering A. – 2010. – V. 527. – P.4985–4992.
17. Pereda B., Fernandez A. I., Lopez B. Effect of Mo on dynamic recrystallization behavior on Nb–Mo micro-alloyed steels // ISIJ International. – 2007. – V. 47, N 6. – P. 860–868.
18. Fernandez A. I., Uranga P., Lopez B., Rodrigues-Ibabe J. M.. Dynamic recrystallization behavior covering a wide austenite grain size range in Nb and Nb–Ti Microalloyed steels // Materials Science and Engineering A. – 2001. – A361. – P. 367–376.
19. Hodgson P. D., Zahiri S. H., Whale J. J. The static and metadynamic recrystallization behavior of an X60 Nb microalloyed steel // ISIJ International. – 2004. – V. 44, N 7. – P. 1224–1229.
20. Dehghan-Manshadi A., Barnett M., Hodgson P. Hot deformation and recrystallization of austenitic stainless steel: Part 1. Dynamic recrystallization // Metal. Mater. Trans. – 2008. – V. 39A. – P. 1359–1370.
21. Morito S., Saito H., Ogawa T., Furuhashi T., Maki T. Effect of austenite grain size on the morphology and crystallography of lath martensite in low carbon steels // ISIJ International. – 2005. – V. 45, N 1. – P. 91–94.
22. Зисман А. А., Хлусова Е. И., Сошина Т. В.. Исследование рекристаллизации аустенита стали 09ХН2МД в условиях горячей прокатки методом релаксации напряжений // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 2 (70). – С. 16–28.
23. Сошина Т. В., Зисман А. А., Хлусова Е. И. Влияние микролегирования ниобием на рекристаллизационные процессы в аустените низкоуглеродистых легированных сталей // Вопросы материаловедения. – 2013. – № 1 (73). – С. 31–36.
24. Частухин А. В., Рингинен Д. А., Хадеев Г. Е., Эфрон Л. И. Кинетика статической рекристаллизации аустенита микролегированных ниобием трубных сталей // Металлург. – 2015. – № 12. – С. 33–38.
25. Частухин А. В., Рингинен Д. А., Эфрон Л. И., Астафьев Д. С., Головин С. В. Разработка моделей структурообразования аустенита для совершенствования стратегий горячей прокатки трубных сталей // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2016. – № 3. – С. 39–53.
26. Орлов В. В. Принципы управляемого создания структурных элементов наноразмерного масштаба в трубных сталях при значительных пластических деформациях // Вопросы материаловедения. – 2011. – № 2 (66). – С. 5–17.
27. Сыч О. В., Хлусова Е. И., Орлов В. В., Круглова А. А. Усовершенствование химического состава и технологических режимов производства штрипса К65–К70 (Х80–Х90) на базе имитационного моделирования // Металлург. – 2013. – № 2. – С. 50–58.
28. Патент РФ № 2465346. Способ производства высокопрочного штрипса для труб магистральных трубопроводов // Сыч О. В., Хлусова Е. И., Голосиенко С. А., Орлов В. В.,

Милейковский А. Б., Галкин В. В., Денисов С. В., Стеканов П. А., Малахов Н. В. // Бюллетень изобретений № 30 от 27.10.2012.

29. Коротовская С. В., Орлов В. В., Хлусова Е.И. Управление процессами структурообразования при термомеханической обработке судостроительных и трубных сталей унифицированного химического состава // *Металлург.* – 2014. – № 5. – С. 71–78.

30. Хлусова Е. И., Орлов В. В., Михайлов М. С. Особенности формирования структуры толстолистовой низкоуглеродистой стали при термомеханической обработке // *Деформация и разрушение материалов.* – 2007. – № 6. – С. 18–24.

31. Счастливец В. М., Табатчикова Т. И., Яковлева И. Л., Дельгадо-Рейна С. Ю., Голосиенко С. А., Пазилова У. А., Хлусова Е. И. Влияние термомеханической обработки на сопротивление хрупкому разрушению низкоуглеродистой низколегированной стали // *Физика металлов и металловедение.* – 2015. – Т. 116. – № 2. – С. 199–209.

32. Хлусова Е. И., Голосиенко С. А., Мотовилина Г. Д., Пазилова У. А. Влияние легирования на структуру и свойства высокопрочной хладостойкой стали после термической и термомеханической обработки // *Вопросы материаловедения.* – 2007. – № 1(49). – С. 20–31.

33. Голосиенко С. А., Мотовилина Г. Д., Хлусова Е. И. Влияние структуры, сформированной при закалке, на свойства высокопрочной хладостойкой стали после отпуска // *Вопросы материаловедения.* – 2008. – №1 (53). – С. 33–46.

34. Хлусова Е. И., Зисман А. А., Сошина Т. В. Построение и использование карт структурных изменений при горячей деформации аустенита низкоуглеродистой стали 09ХН2МДФ для оптимизации промышленных технологий // *Вопросы материаловедения.* – 2013. – №1 (73). – С. 37–48.

35. Пазилова У. А., Хлусова Е. И., Князюк Т. В. Влияние режимов горячей пластической деформации при закалке с прокатного нагрева на структуру и свойства экономнолегированной высокопрочной стали // *Вопросы материаловедения.* – 2017. – № 3 (91). – С. 7–19.

36. Голубева М. В., Сыч О. В., Хлусова Е. И., Мотовилина Г. Д., Святышева Е. В., Рогожкин С. В., Лукьянчук А. А. Изменение структуры при отпуске высокопрочной экономнолегированной стали марки 09ХГН2МД // *Вопросы материаловедения.* – 2018. – № 1 (93). – С. 15–26.

37. Хлусова Е. И., Семичева Т. Г. Процессы формирования аустенитного и ферритного зерна при термической обработке. Структурная наследственность // *Материалы для судостроения и морской техники // Справочник. Т. 1 // С-Пб.: НПО «Профессионал».* – 2009. – С. 83–100.

38. Голубева М. В., Сыч О. В., Хлусова Е. И., Мотовилина Г. Д. Исследование механических свойств и характера разрушения новой экономнолегированной хладостойкой стали с гарантированным пределом текучести 690 МПа // *Авиационные материалы и технологии.* – 2017. – № 4 (49). – С. 19–24.

39. Janjusevic Z., Gulisija Z., Michailovic M., Pataric A. The investigation of applicability of the Hollomon-Jaffe equation on tempering the HSLA steel // *CI&CEQ.* – 2009. – N 15 (3). – P. 131–136.

40. Jaffe L., Gordon E. Temperability of Steels // *Transactions of American Society for Metals.* – 1957. – N 49. – P. 359–371.

41. Hollomon J., Jaffe L. Time-temperature relations in tempering steel // *Metal Technology.* – 1945. – N 12. – P. 223–249.

42. Сыч О. В., Голубева М. В., Хлусова Е. И. Разработка хладостойкой свариваемой стали категории прочности 690 МПа для тяжелонагруженной техники, работающей в арктических условиях // *Тяжелое машиностроение.* – 2018. – № 4. – С. 17–25.

43. Гусев М. А., Ильин А. В., Ларионов А. В. Сертификация судостроительных материалов для судов, эксплуатирующихся в условиях Арктики // *Судостроение.* – 2014. – № 5 (816). – С. 39–43.

44. Сыч О. В., Хлусова Е. И., Пазилова У. А., Яшина Е. А. Структура и свойства зоны термического влияния низколегированных хладостойких сталей для арктического применения // *Вопросы материаловедения.* – 2018. – № 2 (94). – С. 30–51.

45. Сыч О. В., Голубева М. В., Хлусова Е. И. Исследование структуры и свойств сварных соединений из высокопрочной хладостойкой стали марки 09ХГН2МД, полученных электродуговой и лазерной сваркой // *Тяжелое машиностроение.* – 2018. – № 7-8.-С. 23-32.

46. Сыч О. В., Хлусова Е. И., Голубева М. В., Гусев М. А., Яшина Е. А., Денисов С. В., Горшков С. Н., Стеканов П. А., Авраменко В. А., Мычак М. Н. Разработка и внедрение технологий произ-

водства хладостойкого металлопроката для ледокольного флота, морской и инженерной техники, эксплуатирующейся в Арктике // Сборник статей лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа в рамках Международной конференции и выставки по освоению нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore), Санкт-Петербург, 12–15 сентября 2017 г. – С. 31–33.

УДК 669.15'786–194.2:621.791.052

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОЙ δ -ФЕРРИТА ПРИ СВАРКЕ АУСТЕНИТНО-ФЕРРИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

А. А. КАЗАКОВ¹, д-р техн. наук, О. В. ФОМИНА², канд. техн. наук, А. И. ЖИТЕНЕВ¹,
П. В. МЕЛЬНИКОВ², канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
195251 Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

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

Поступила в редакцию 24.10.2018

После доработки 2.11.2018

Принята к публикации 6.11.2018

На примере металла шва на основе стали 10X19N11M4Ф, применяемой в настоящее время для сварки высокопрочных низколегированных сталей, показано влияние ее химического состава на поведение δ -феррита во всем температурном интервале его существования. На основе этих исследований показаны перспективы использования стали 10X19N11M4Ф для сварки высокоазотистых коррозионно-стойких сталей с сохранением их немагнитности, в том числе в области сварного соединения. С помощью термодинамического моделирования найдены критические параметры, определяющие поведение δ -феррита при кристаллизации и последующем охлаждении твердой стали. Показано, что наиболее важными среди них являются: глубина δ -ферритного превращения и максимальная равновесная температура аустенитизации, которые были использованы для интерпретации экспериментальных данных, полученных при горячем физическом моделировании сварки. Найдены и изображены на фрагменте усовершенствованной диаграммы Шеффлера – Шпайделя области перспективных составов металла шва при сварке низколегированных высокопрочных и высокоазотистых коррозионно-стойких сталей без горячих трещин и обеспечением, при необходимости, немагнитности шва.

Ключевые слова: сварочная проволока, высокопрочная низкоуглеродистая сталь, высокоазотистая коррозионно-стойкая сталь, δ -феррит, σ -фаза, кристаллизация, аустенитизация, термодинамическое моделирование

ЛИТЕРАТУРА

1. Костина М. В., Мурадян С. О., Калинин Г. Ю., Фомина О. В., Блинова Е. Н., Костина В. С. Структура и свойства толстолистовых сварных соединений новой аустенитной азотистой стали для работы в условиях высоких статических и знакопеременных нагрузок, коррозионной среды // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 1(81). – С. 95–108.
2. Lippold J. C. Recent developments in weldability testing for advanced materials // Joining of advanced and speciality materials VII (05116G). – The Ohio state university, Columbus, OH, USA., 2005. – P. 1.
3. Ланин А. А., Ананьева М. А., Галяткин С. Н., Зеленин Ю. В. Природа и методы определения стойкости против хрупких разрушений сварных соединений // Вопросы материаловедения. – 2007. – № 3 (51). – С. 320–326.
4. Kujanpaa V. P., David S. A., White C. L. Formation of hot cracks in austenitic stainless steel welds – solidification cracking // Welding research supplement. – 1986. – 204-s, August. – P. 203–212.
5. Brooks J. A., Thompson A. W., Williams J. C. A fundamental study of the beneficial effects of δ -ferrite in reducing weld cracking // Welding Journal. – 1984. – N 63. – P. 71–83.
6. Brooks J. A. Weldability of high N, high-Mn austenitic stainless steel // Welding Journal. – 1975. – N 54. – P. 189–195.

7. Brooks J. A., Thompson A. W. Microstructural development and solidification cracking susceptibility of austenitic stainless steel welds // *Journal International Materials Reviews*. – 1991. – V. 36. – P. 16–44.
8. Priceputu I. L., Moisa B., Chiran A., Nicolescu G., Bacinschi Z. Delta ferrite influence in AISI 321 stainless steel welded tubes // *The Scientific Bulletin of Valahia University: Materials and Mechanics*. – 2011. – N 6 (year 9). – P. 87–96.
9. Schaffler A. I. Constitution diagram for stainless steel weld metal // *Metal Progress*. – 1949. – N 56. – P. 680–680B.
10. DeLong W. T., Ostorm G. A., Szumachowski E. R., Measurement and calculation of ferrite in stainless steel weld metal // *Welding Journal*. – 1956. – N 35 (11). – P. 521–528.
11. Speidel M. High Nitrogen Steels // *Proceedings of the 10th International Conference on High Nitrogen Steels*. – 2009. – P. 121.
12. Казаков А. А., Шахматов А. В., Колпишон Э. Ю. Литая структура и наследственность высокохромистой стали с азотом // *Тяжелое машиностроение*. – 2015. – № 1–2. – С. 19–24.
13. Казаков А. А., Орыщенко А. С., Фомина О. В., Житенев А. И., Вихарева Т. В. Управление природой δ -феррита в азотсодержащих хромоникельмарганцевых сталях // *Вопросы материаловедения*. – 2017. – № 1(89). – P. 7–12.
14. Vitek J. M., David S. A. The Sigma Phase Transformation in Austenitic Stainless Steels // *Welding research. Supplement to the Welding Journal*. – 1986, April. – P. 106–112.
15. Hsieh C., Wu W. Overview of Intermetallic Sigma (σ) Phase Precipitation in Stainless Steels // *International Scholarly Research Network ISRN Metallurgy Volume 2012*, pp.1–15
16. Padilha A., Tavaresb C., Martorano M. Delta Ferrite Formation in Austenitic Stainless Steel Castings // *Materials Science Forum*. – 2013. – V. 730–732. – P. 733–738. Doi:10.4028/www.scientific.net / MSF.730–732.733
17. Липпольд Д., Котеки Д. *Металлургия сварки и свариваемость нержавеющей сталей*. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 467 с.
18. Fukumoto S., Iwasaki Y., Motomura H., Fukuda Y. Dissolution behavior of ferrite in continuously cast slabs of SUS304 during Heat Treatment // *ISIJ International*. – 2012. – V. 52, N 1. – P. 74–79.
19. Inoue H., Koseki T. Clarification of Solidification Behaviors in Austenitic Stainless Steels Based on Welding Process // *Nippon Steel Technical Report*. – 2007. – N 95, January. – P. 62–70.
20. Shakhmatov A. V., Badrak R. P., Kolesov S. S. Influence of structure on the corrosion properties of high manganese high nitrogen stainless steel // *Proceedings of the European corrosion congress "Eurocorr 2015", Graz, Austria, 2015*. – P. 1–10.

УДК 669.15'786–194.56:669.065.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ АЗОТА В АУСТЕНИТНЫХ АЗОТИСТЫХ СТАЛЯХ ПРИ ВЫПЛАВКЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ CALPHAD-МЕТОДА

Л. А. СМЕРНОВ^{1,2}, акад. РАН, И. И. ГОРБАЧЕВ³, канд. физ.-мат. наук,
В. В. ПОПОВ³, д-р техн. наук, А. Ю. ПАСЫНКОВ³, А. С. ОРЫЩЕНКО⁴, д-р техн. наук,
Г. Ю. КАЛИНИН⁴, д-р техн. наук

¹ОАО Уральский институт металлов, 620062, Екатеринбург, ул. Гагарина, 14

²Институт металлургии УрО РАН, 620016, Россия, Екатеринбург, ул. Амундсена, 101
E-mail: admin@imet.mplik.ru

³ФГБУН «Институт физики металлов им. М. Н. Михеева» УрО РАН, 620108, Екатеринбург,
ул. С. Ковалевской, 18

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

Поступила в редакцию 28.03.2018

После доработки 6.08.2018

Принята к публикации 21.08.2018

На основе CALPHAD-метода построено термодинамическое описание системы Fe–Cr–Mn–Ni–Si–C–N. С помощью алгоритма, основанного на поиске глобального минимума интегральной энергии Гиббса, выполнены расчеты фазового состава данной системы в интервале от 1750°С до температуры затвердевания и в диапазоне составов, соответствующем стали 04X20H6Г11М2АФБ. Расчеты показали, что при температурах выше линии ликвидуса Cr и Mn увеличивают, а Ni и Si уменьшают растворимость азота в расплаве. При увеличении содержания Cr, Mn, Ni и Si в стали в исследованном интервале составов понижается как температура ликвидуса, так и солидуса. Степень влияния на эти температуры содержания Cr, Mn, Ni и Si в пределах марки стали различна и колеблется от ~3 до ~14°С. Расчеты с учетом возможности перехода азота между сталью и атмосферой воздуха показали, что количество связанного азота в исследуемом сплаве варьируется в зависимости от состава стали и температуры от ~0,3 до ~0,6 мас. %. При понижении температуры от ликвидуса до солидуса увеличивается количество связанного азота за исключением тех составов стали, когда из жидкой фазы в первую очередь выделяется феррит, а не аустенит.

Ключевые слова: сплав системы Fe–Cr–Mn–Ni–Si–C–N, термодинамическое моделирование, ликвидус, солидус, растворимость азота

ЛИТЕРАТУРА

1. Saunders N., Miodownik A. D. Calphad: Calculation of phase diagrams, a comprehensive guide // Pergamon Materials Series. V. 1 / Ed. R.W. Cahn. – Oxford: Pergamon, 1998. – 496 p.
2. Горбачев И. И., Попов В. В. Термодинамическое моделирование системы Fe–V–Nb–C–N на основе CALPHAD-метода // Физика металлов и металловедение. – 2011. – Т. 111, № 5. – С. 518–525.
3. Горбачев И. И., Попов В. В., Пасынков А. Ю. Термодинамическое моделирование карбонитридообразования в сталях с Nb и Ti // Физика металлов и металловедение. – 2012. – Т. 113, № 7. – С. 727–735.
4. Горбачев И. И., Попов В. В., Пасынков А. Ю. Термодинамическое моделирование карбонитридообразования в сталях с V и Ti // Физика металлов и металловедение. – 2012. – Т. 113, № 10. – С. 1026–1034.
5. Горбачев И. И., Попов В. В., Пасынков А. Ю. Термодинамические расчеты карбонитридообразования в малоуглеродистых низколегированных сталях с V, Nb и Ti // Физика металлов и металловедение. – 2014. – Т. 115, № 1. – С. 74–81.
6. Горбачев И. И., Попов В. В., Пасынков А. Ю. Расчеты влияния легирующих добавок (Al, Cr, Mn, Ni, Si) на растворимость карбонитридов в малоуглеродистых низколегированных сталях // Физика металлов и металловедение. – 2016. – Т. 117, № 12. – С. 1277–1287.
7. Gavriljuk V. G., Berns H. High Nitrogen Steels. – Berlin: Springer-Verlag. 1999. – 378 p.
8. Frisk K. A Study of the thermodynamic properties of the Cr–Fe–Mo–Ni system: Doctoral thesis. – Stockholm. KTH, 1990.
9. Qiu C. Thermodynamic Study of carbon and nitrogen in stainless Steels: Doctoral thesis. – Stockholm. KTH, 1993.
10. Блинов В. М., Банных О. А., Костина В. М., Ригина Л. Г., Блинов Е. В. О влиянии легирования на предельную растворимость азота в коррозионно-стойких низкоуглеродистых сплавах // Металлы. – 2004. – № 4. – С. 42–49.
11. Анциферов В. Н., Попов В. В., Трусов П. В., Оглезнева С. А., Зубко И. Ю., Горбачев И. И. Порошковые механически легированные азотистые стали с наночастицами. – Екатеринбург: УрО РАН. 2010. – 188 с.
12. Попов В. В., Горбачев И. И. Анализ растворимости карбидов, нитридов и карбонитридов в сталях методами компьютерной термодинамики. I. Описание термодинамических свойств. Метод расчета // Физика металлов и металловедение. – 2004. – Т. 98, № 4. – С. 11–21.
13. Hillert M., Staffonsson L.-I. The regular solution model for stoichiometric phases and ionic melts // Acta Chemica Scand. – 1970. – V. 24, N 10. – P. 3618–3626.
14. Sundman B., Agren J. A regular solution model for phase with several components and sublattices, suitable for computer applications // J. of Phys. and Chem. of Solids. – 1981. – V. 42, N 4. – P. 297–301.

15. Inden G. Determination of chemical and magnetic interexchange energies in bcc alloys. III. Application to ferromagnetic alloys // *Z. Metallkd.* – 1977. – V. 68, N 8. – P. 529–534.
16. Hillert M., Jarl M. Model for alloying effects in ferromagnetic metals // *CALPHAD.* – 1978. – V. 2, N 3. – P. 227–238.
17. Miettinen J. Reassessed thermodynamic solution phase data for ternary Fe–Si–C system // *CALPHAD.* – 1998. – V. 22, N 2. – P. 231–256.
18. Frisk K. A thermodynamic evaluation of the Cr–N, Fe–N, Mo–N and Cr–Mo–N systems // *CALPHAD.* – 1991. – V. 15, N 1. – P. 79–106.

УДК 669.14.018.295:621.981:629.5.024

РАЗРАБОТКА И МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОЙ ГИБКИ ДЕТАЛЕЙ КОРПУСОВ КОРАБЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

М. А. БУДНИЧЕНКО, канд. техн. наук, Л. М. ВАЙНЕР, Л. Е. БЕРЕЗАНСКИЙ

АО «ПО «Севмаш», 164500, Северодвинск, Архангельская обл., Архангельское шоссе, 58.

E-mail: smp@sevmash.ru

Поступила в редакцию 6.08.2018

После доработки 2.10.2018

Принята к публикации 3.10.2018

На АО «ПО «Севмаш» разработана технология пространственной гибки деталей корпусов кораблей из высокопрочных сталей и сплавов методом последовательного локального деформирования (ПЛД), дано материаловедческое обоснование ее внедрения. Кроме практической положительной стороны изготовления деталей, метод ПЛД экономически эффективен и позволяет значительно снизить стоимость изготовления деталей.

Ключевые слова: метод последовательного локального деформирования, холодная гибка, высокопрочные стали, экономическая эффективность

ЛИТЕРАТУРА

1. Куклин О. С., Левшаков В. М. Формообразование элементов торосферических конструкций // Сборник докладов «Моринтех-2001». – СПб.: НИЦ «Моринтех», 2001.
2. Куклин О. С., Левшаков В. М., Попов В. И. Освоение передовых технологий формообразования элементов корпусных конструкций // Судостроение. – 2004. – № 5.
3. Березанский Л. Е., Куклин О. С., Левшаков В. М., Шуньгин В. Ю. Результаты применения технологии холодной гибки методом ПЛД деталей переборок основного корпуса подводных кораблей на АО «ПО «Севмаш» // Докл. научно-технической конф. «Становление и развитие атомного подводного кораблестроения на АО «ПО «Севмаш», посвященной памяти С. В. Слесаревича. – Северодвинск, ИСМАРТ филиала САФУ, 2015.
4. Шуньгин В. Ю. Формообразование концевых переборок основного корпуса подводных аппаратов // Докл. научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти проф. П. Ф. Поповича. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2009.
5. Вайнер Л. М., Куклин О. С., Куликов В. П., Шуньгин В. Ю. Развитие технологий формообразования толстостенных листовых заготовок методом последовательного локального деформирования // Вестник технологии судостроения. – 2010. – № 18.
6. Патент РФ на изобретение № 2443488. Способ формообразования деталей штампованных оболочек торосферической и эллиптической формы / Куклин О. С., Васильев А. А., Вайнер Л. М., Куликов В. П., Шуньгин В. Ю. Оpubл. 27.02. 2012 г.
7. Патент РФ на изобретение № 2566127. Способ формообразования листовых деталей двойкой кривизны / Куликов В. П., Левшаков В. М., Шуньгин В. Ю., Вайнер Л. М., Васильев А. А., Куклин О. С., Ежов Ю. Е., Кириллов А. Н., Иванушкова Е. А. Оpubл. 20.10.2015.

УДК 669.14.018.252.3:621.762

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГРАНУЛ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ М2

Л. Е. АФАНАСЬЕВА, канд. физ.-мат. наук

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Тверь,
наб. Афанасия Никитина, 22. E-mail: common@tstu.tver.ru

Поступила в редакцию 4.07.2018

После доработки 20.08.2018

Принята к публикации 21.08.2018

Проведен металлографический анализ гранул быстрорежущей стали М2, полученной по технологии газоструйного распыления расплава. Показано, что гранулы близкого размера могут затвердевать как по химически разделительному, так и по химически безразделительному механизму. Последние имеют структуру пересыщенного твердого раствора, по химическому составу идентичного жидкому расплаву, дисперсную дендритно-ячеистую структуру и повышенную микротвердость $HV = 10300 \pm 200$ МПа.

Ключевые слова: быстрорежущая сталь, высокоскоростная кристаллизация, металлургия гранул, литая структура

ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
2. Гиршов В. Л. Порошковая быстрорежущая сталь с дисперсной структурой // Вопросы материаловедения. – 2008. – № 54 (2). – С. 33–42.
3. Мирошниченко И. С. Закалка из жидкого состояния. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
4. Белов А. Ф., Аношкин Н. Ф., Фаткуллин О. Х. Структура и свойства гранулируемых никелевых сплавов. – М.: Металлургия, 1984. – 128 с.
5. Гиршов В. Л. Малоотходная технология изготовления инструмента из быстрорежущей стали // Металлообработка. – 2015. – № 5. – С. 26–31.
6. Агеев С. В., Гиршов В. Л., Цеменко В. Н. Горячее изостатическое прессование биметаллических прутков с наружным слоем из порошковой быстрорежущей стали // Металлообработка. – 2017. – № 2. – С. 46–52.
7. Рынденков Д. В., Рыбанцова Е. Н. О формировании гранул с остатками литой структуры в компактах из жаропрочных Ni сплавов // Металлургия машиностроения. – 2016. – № 4. – С. 43–47.
8. Рынденков Д. В., Перевозов А. С., Никитина А. Ю., Рыбанцова Е. Н. Нерекристаллизованные гранулы в компактированном монолите из жаропрочных никелевых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2014. – № 8. – С. 9–12.
9. Рынденков Д. В., Рыбанцова Е. Н. О влиянии фракционного состава гранул из жаропрочных никелевых сплавов на наличие в компактированном материале гранул с признаками литой структуры // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 15–20.
10. Кривилев М., Франсаер Я. Нестационарный тепломассоперенос при высокоскоростной кристаллизации методом распыления расплава // Вестник Удмуртского университета. – 2009. – Вып. 1. – С. 43–52.
11. Лыков П. А., Байтимеров Р. М., Сафонов Е. В., Шульц А. О. Моделирование процесса распыления расплава в газовой струе // Вестник ЮУрГУ. – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 148–154.
12. Соколов Ю. А., Афанасьева Л. Е., Барабонова И. А., Новоселова М. В., Гречишкин Р. М. Микроструктура и свойства сплава Ti–6Al–4V, полученного по технологии послойного электронно-лучевого синтеза // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2015. – № 6 (720). – С. 45–50.
13. Афанасьева Л. Е. Закономерности формирования структуры сплава Ti–6Al–4V при послойном электронно-лучевом плавлении и горячем изостатическом прессовании // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 91(3). – С. 27–34.
14. Лаборатория металлографии: Учеб. пособие / Е. В. Панченко, Ю. А. Скаков, Б. И. Кример и др. / Под ред. Б. Г. Лившица. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Металлургия, 1965. – 439 с.
15. Галенко П. К., Херлах Д. М. Бездиффузионный рост кристаллической структуры при высокоскоростном затвердевании эвтектической бинарной системы // Вестник Удмуртского университета. 2006. – № 4. – С. 77–92.

16. Кривилев М. Д., Галенко П. К. Моделирование перехода к бездиффузионному затвердеванию при высокоскоростной кристаллизации бинарных сплавов // Вестник Удмуртского университета. – 2008. – № 1. – С. 129–140.
17. Sobolev S. L. Rapid solidification under local nonequilibrium conditions // Physical Review E. – 1997. – V. 55, N 6. – P. 6845–6854.
18. Galenko P., Sobolev S. Local nonequilibrium effect on undercooling in rapid solidification of alloys // Physical Review E. – 1997. – V. 55, N 1. – P. 343–352.
19. Galenko P. K., Danilov D. A. Linear morphological stability analysis of the solid-liquid interface in rapid solidification of a binary system // Physical Review E. – 2004. – V. 69, N 5. – P. 051608.
20. Galenko P. K. Rapid advancing of the solid-liquid interface in undercooled alloys // Mater. Sci. Engng. – 2004. – V. 375–377A. – P. 493–497.
21. Gilgien P., Zryd A., Kurz W. Metastable phase diagrams and rapid solidification processing // ISIJ international. – 1995. – V. 35, № 6. – P. 566–573.

УДК 678.067–419.4:620.172

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОИСТОГО МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЛИСТОВ АЛЮМИНИЯ И СЛОЕВ УГЛЕПЛАСТИКА

С. И. ВОЙНОВ, Г. Ф. ЖЕЛЕЗИНА, канд. техн. наук, А. В. ИЛЬИЧЕВ, Н. А. СОЛОВЬЕВА

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

Поступила в редакцию 9.07.2018

После доработки 11.07.2018

Принята к публикации 21.08.2018

Исследованы свойства при растяжении слоистого металлополимерного композиционного материала на основе листов алюминиевого сплава и слоев углепластика различного состава. Исследована эффективность комплексной антикоррозионной защиты металлополимерного композиционного материала при воздействии факторов внешней среды.

Ключевые слова: углеродные волокна, углепластик, алюминиевые сплавы, слоистые металлополимерные композиционные материалы

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. – 2012. – № 3. – С. 10–15.
2. Каблов Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. – 2012. – Т. 82, № 6. – С. 520–530.
3. 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.
4. Гращенков Д. В., Чурсова Л. В. Стратегии развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С. 231–241.
5. Каблов Е. Н. Материалы и технологии ВИАМ для «Авиадвигателя» // ИБ «Пермские авиационные двигатели». – 2014. – № 31. – С. 43–47.
6. Грабильников А. С., Машинская Г. П., Железина Г. Ф., Зиневич О. М., Деев И. С. Межслойная трещиностойкость гибридного композитного материала АЛОР // Механика композитных материалов. – 1994. – Т. 30, № 2. – С. 136–145.
7. Mashinskaya G. P., Zhelezina G. F., Senatorova O. G. Laminated Fibrous Metal – Polymer Composites Soviet Advanced Composites Technology Series // Chapman & Hall. – 1995. – P. 487–570.
8. Постнов В. И., Сенаторова О. Г., Каримова С. А., Павловская Т. Г., Железина Г. Ф., Казаков И. А., Абрамов П. А., Постнова М. В., Котов О. Е. Особенности формования крупногабаритных листов металлополимерных КМ, их структура и свойства // Авиационные материалы и технологии. – 2009. – № 4. – С. 23–32.

9. Постнов В. И., Сенаторова О. Г., Железина Г. Ф., Казаков И. А., Абрамов П. А., Герасимов В. А., Постнова М. В. Опыт применения МПКМ АЛОР Д16/41 в носовой части крыла самолета АН-124-100 // *Авиационные материалы и технологии*. – 2009. – № 4. – С. 8–17.
10. Деев И. С., Железина Г. Ф. Фрактографический анализ слоистого металлополимерного композита АЛОР после испытаний на трещиностойкость // *Композиты и наноструктуры*. – 2015. – V. 7, N 3. – С. 162–176.
11. Антипов В. В., Сенаторова О. Г., Лукина Н. Ф., Сидельников В. В., Шестов В. В. Слоистые металлополимерные композиционные материалы // *Авиационные материалы и технологии*. – 2012. – № 5. – С. 226–230.
12. Laurens B. V. Development of a new hybrid material (ARALL) for aircraft structures // *Industrial & Engineering Chemistry*. – 1983. – N 22(3). – P. 492–496.
13. Gunnink J. W., Vlot A., De Vries T. J., Van Der Hoeven W. Glare technology development 1997–2000 // *Applied Composite Materials*. – N 9. – 2002. – P. 201–219.
14. Botelho E. C., Campos A. N., de Barros E., Pardini L. C., Rezende M. C. Damping behavior of continuous fiber/metal composite materials by the free vibration method // *Composites: Part B*. – 2006. – V. 37. – P. 255–263.
15. Войнов С. И., Железина Г. Ф., Павловская Т. Г., Волков И. А. Проблема контактной коррозии при создании слоистых металлополимерных композиционных материалов на основе алюминия и углепластика // *Вопросы материаловедения*. – 2016. – № 1 (85). – С. 127–133.
16. Almeida R. S., Damato C. A., Botelho E. C., Pardini L. C., Rezende M. C. Effect of surface treatment on fatigue behavior of metal/carbon fiber laminates // *J. Mater. Sci.* – N 43. – 2008. – P. 3173–3179.
17. Павловская Т. Г., Козлов И. А., Волков И. А., Захаров К. Е. Формирование твердых износостойких анодно-оксидных покрытий на деталях из литейных алюминиевых сплавов // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2015. – № 8. – Ст.04 (дата обращения 27.04.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-4-4.
18. Павловская Т. Г., Волков И. А., Козлов И. А., Наприенко С. А. Экологически улучшенная технология обработки поверхности алюминиевых сплавов // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2016. – № 7. Ст.02 (дата обращения 27.04.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-2-2.
19. Ostapiuka M., Surowskaa B., Bienias J. Interface analysis of fiber metal laminates // *Composite Interfaces*. – 2014. – V. 21, N 4. – P. 309–318.
20. Войнов С. И., Железина Г. Ф., Волков И. А., Соловьева Н. А. Ингибиторы коррозии в составе слоистого металлополимерного композиционного материала на основе алюминия и углепластика // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2017. – № 4(52). – Ст.06 (дата обращения 27.04.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-4-6-6.
21. Каримова С. А., Павловская Т. Г. Разработка способов защиты от коррозии конструкций, работающих в условиях космоса // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2013. – № 4. Ст. 02 (дата обращения 27.04.2018).
22. Каблов Е. Н., Каримова С. А., Семенова Л. В. Коррозионная активность углепластиков и защита металлических силовых конструкций в контакте с углепластиком // *Коррозия: материалы, защита*. – 2011. – № 12. – С. 1–7.
23. Каблов Е. Н., Старцев О. В., Медведев И. М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // *Авиационные материалы и технологии*. – 2015. – № 2. – С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.
24. 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.
25. Козлова Л. С., Сибилева С. В., Чесноков Д. В., Кутырев А. Е. Ингибиторы коррозии (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. – 2015. – № 2. – С. 67–75. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75.
26. Войнов С. И., Железина Г. Ф., Соловьева Н. А. Влияние исходных компонентов на механические характеристики слоистого металлополимерного композиционного материала алюминий – углепластик // *Материаловедение*. – 2017. – № 5. – С. 38–42.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ГАЗОВОЙ АТОМИЗАЦИЕЙ РАСПЛАВА И ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Д. И. СУХОВ, канд. техн. наук, С. В. НЕРУШ, М. А. ЮРКОВ, канд. техн. наук, Г. В. АМИРДЖАНЯН

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

Поступила в редакцию 14.03.2018

После доработки 6.09.2018

Принята к публикации 14.09.2018

Исследованы структура и технологические свойства (текучесть, плотность утряски, насыпная плотность и др.) металлопорошковых композиций (МПК) новых экспериментальных составов коррозионно-стойких сталей систем Fe–Cr–Ni, Fe–Cr–Ni–Mo и Fe–Cr–Ni–Co–Mo, предназначенных для изготовления деталей методом селективного лазерного сплавления. Изучена морфология частиц и проведен подсчет дендритного параметра для частиц различной формы. Проанализировано содержание газовых примесей в МПК для различных фракций. Проведенные исследования технологических свойств подтвердили высокое качество МПК, в частности, минимальное значение текучести составило 14 с при требовании к МПК для аддитивной технологии не более 20 с.

Ключевые слова: металлопорошковые композиции, коррозионно-стойкие стали, атомизация расплава, селективное лазерное сплавление

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Что такое инновации // Наука и жизнь. – 2011. – № 11. – С. 16–21.
2. Каблов Е. Н. Аддитивные технологии – доминанта национальной технологической инициативы // Интеллект и технологии. – 2015. – № 2(11). – С. 52–55.
3. Каблов Е. Н. На перекрестке науки, образования и промышленности // Эксперт. – 2015. – № 15 (941). – С.49–53
4. Евгенов А. Г., Щербаков С. И., Роголев А. М. Опробование порошков жаропрочных сплавов ЭП718 и ЭП648 производства ФГУП «ВИАМ» для ремонта деталей ГТД методом лазерной газопорошковой наплавки // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – № S1. – С. 16–23. DOI 10.18577/2071-9140-2016-0-S1-16-23
5. Неруш С. В., Евгенов А. Г. Исследование мелкодисперсного металлического порошка жаропрочного сплава марки ЭП648-ВИ применительно к лазерной LMD-наплавке, а также оценка качества наплавки порошкового материала на никелевой основе на рабочие лопатки ТВД // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2014. – № 3. Ст.01 URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 09.08.17) DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-3-1-1
6. Евгенов А. Г., Неруш С. В., Василенко С. А. Получение и опробование мелкодисперсного металлического порошка высокохромистого сплава на никелевой основе применительно к лазерной LMD-наплавке // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2014. – № 5. Ст.04 URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 09.08.17). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-5-4-4
7. Characterization of Metal Powders Used for Additive Manufacturing / J. A. Slotwinski e. a. // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. – 2014. – V. 119. – С.460–493 <http://dx.doi.org/10.6028/jres.119.018>
8. Averyanova M., Bertrand Ph., Verquin B. Studying the influence of initial powder characteristics on the properties of final parts manufacturing by selective laser melting technology // Virtual and Physical Prototyping. – 2011. – V. 6. – С. 215–223 <https://doi.org/10.1080/17452759.2011.594645>
9. Востриков А. В., Сухов Д. И. Производство гранул методом PREP для аддитивных технологий – текущий статус и перспективы развития. // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2016. – № 8. Ст.17 URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 09.08.17 г.). DOI: 10.18577/2307-6046-016-0-8-3-3
10. Hohmann M., Brooks G., Spiegelhauer C. Production methods and applications for high-quality metal powders and sprayformed products [Produktionsmethoden und Anwendungen für Qualitativ hochwertige Metallpulver und Spruhkompaktierte Halbzeuge] // Stahl und Eisen. – 2005. – N 4. – 125 p.

11. Dunkley J. J. Atomization. ASM Handbook. V. 7: Powder Metal Technologies and Applications. – ASM International Publishers, 1998. – P. 35–52.
12. Образование пор в распыленном порошке / Ю. Ф. Терновой, А. Г. Цыпунов, С. Б. Куратченко и др. // Порошковая металлургия. – 1985. – № 1. – С. 10–14.
13. Осокин Е. Н., Артемьева О. А. Процессы порошковой металлургии. [Электронный курс лекций] Версия 1.0 – Электрон. дан. (5 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
14. Родионов А. И., Ефимочкин И. Ю., Буякина А. А., Летников М. Н. Сфероидизация металлических порошков (обзор) // Авиационные материалы и технологии. – 2016. – № S1. – С. 60–64. DOI 10.18577/2071-9140-2016-0-S1-60-64
15. 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.
16. Anderson I. E., Terpsta R. I., Figliola R., Gas recirculation flow in the melt feeding zone of a close-coupled gas atomization nozzle: modelling and measurement // Proceedings of 2nd International Conference on Spray Deposition and Melt Atomization. V. 2. – Bremen Universität, 2003. – P. 19–30.
17. Metalcor GmbH [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metalcor.de/en/datenblatt/34/> (дата обращения: 06.08.2018).

УДК 621.791.927:621.762:620.178.16

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ПОРОШКОВОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ И НОВОЙ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С ПРЕДЕЛОМ ТЕКУЧЕСТИ 1500 МПа

Т. В. КНЯЗЮК, канд. техн. наук, Г. Д. МОТОВИЛИНА, канд. техн. наук, В. В. БОБЫРЬ,
В. В. РЯБОВ, канд. техн. наук

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

Поступила в редакцию 30.08.2018

После доработки 27.09.2018

Принята к публикации 3.10.2018

Представлены результаты исследования образцов покрытий, полученных методом лазерной наплавки порошка марки M2 (Hoganas, Бельгия) на новую среднеуглеродистую экономнолегированную сталь марки Б1500. Выполнен анализ микроструктуры, фазового состава, микротвердости, а также дефектов (поры, трещины) наплавленных покрытий в зависимости от погонной энергии лазерного излучения. Приведены результаты испытания на износостойкость образцов покрытий с целью выбора оптимальных режимов лазерной наплавки.

Ключевые слова: порошковая лазерная наплавка, износостойкое покрытие, структура и свойства, погонная энергия лазерного излучения

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. Учебное пособие для вузов / Под ред. А. Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с.
2. Бирюков В. П. Улучшение свойств поверхности при лазерном легировании и наплавке покрытий // Тяжелое машиностроение. – 2011. – № 7. – С. 7–10.
3. Лисунов Е. А., Колпаков А. В. Экспресс легирование поверхностного слоя стальных деталей // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – №3. – С. 78–79.
4. Wu J. and B. C., Redman J. E. Hard facing with Cobalt and Nickel Alloys // Welding Journal. – 1994. – September. – P. 63–68.
5. Райкис О. Диодные лазеры для лазерного плакирования: status quo-quo vadis // Фотоника. – 2015. – № 3. – С. 51.

6. Бирюков В. П., Татаркин Д. Ю., Хриптович Е. В., Фишков А. А. Определение влияния режимов лазерной наплавки и состава порошковых материалов на износостойкость покрытий // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. – № 1. – С. 63–66.
7. Бирюков В. П. Повышение износостойкости при лазерной обработке почвообрабатывающих орудий // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107. – С. 105–106.
8. Бирюков В. П., Петрова И. М., Гадолина И. В. Оптимизация режимов лазерной наплавки для повышения характеристик сопротивления усталости стальных образцов и деталей машин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2015. – № 1 (121). – С. 3–6.
9. Бирюков В. П. Влияние многостадийных термических циклов на повышение износостойкости поверхностей трения при лазерном упрочнении и наплавке покрытий // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 12. – С. 15–21.
10. Бирюков В. П. Улучшение свойств поверхности при лазерном легировании и наплавке покрытий // Тяжелое машиностроение. – 2011. – № 7. – С. 7–10.
11. Бирюков В. П., Петровский В. Н., Мурзаков М. А. Влияние нанокарбидов тугоплавких металлов на трибологические свойства покрытий при лазерной наплавке // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – № 6. – С. 70–74.
12. Гуреев Д. М., Оптимизация теплостойкости быстрорежущих сталей при сочетании объемной и лазерной термообработок // Вестн. Самарского гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2014. – № 2(35). – С. 156–167.
13. Рябов В. В., Хлусова Е. И., Голосиенко С. А., Мотовилина Г. Д. Новые стали для сельскохозяйственного машиностроения // Металлург. – 2015. – № 6. – С. 59–65.

УДК 621.762.2:615.45

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ УДА-ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА РЕНТГЕНОКОНТРАСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Ф. ВАСИЛЬЕВ, Т. С. ВИНОГРАДОВА, Е. А. САМОДЕЛКИН,
Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук

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

Поступила в редакцию 8.06.2018

После доработки 7.08.2018

Принята к публикации 21.09.2018

Научно-исследовательские работы по изучению влияния высокоэнергетической ударной дезинтеграторно-активаторной технологии обработки на материалы различных классов и назначений были начаты в НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» по инициативе и под непосредственным научным руководством академика И. В. Горынина. В частности, большое внимание было уделено исследованию процесса активации биоматериалов в рабочей зоне дезинтеграторов при соударении частиц со сверхзвуковыми скоростями. В настоящей работе изучено влияние процесса высокоскоростной УДА-обработки на повышение биологической активности фармацевтических продуктов и лекарственных препаратов.

Ключевые слова: ударная дезинтеграторно-активаторная обработка, высокоэнергетическая активация материалов, биологическая активность, дезинтеграторная установка, рентгеноконтрастное средство

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Биотехнологии / Под ред. Л. М. Гохберга, М. П. Кирпичникова. – М.: Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 48 с.
2. Перспективные направления развития науки в Петербурге / Отв. ред. Ж. И. Алферов, О. В. Белый, Г. В. Давас, Е. А. Иванова. – СПб.: Изд-во ИП Пермяков С.А., 2015. – С 137–163.
3. Патент РФ № 2426593. Дезинтегратор / Е. Ю. Земляницын, Б. В. Фармаковский, Е. А. Самоделкин, Н. В. Маренников, М. А. Коркина, А. Ф. Васильев, Т. А. Тараканова. Опубликовано 20.08.2011.

4. Физико-химические процессы синтеза наноразмерных объектов / В. А. Жабрев и др. – СПб: Элмор, 2012. – С. 327.
5. Хинт Й. УДА-технология: проблемы и перспективы. – Таллин: Валгус, 1981. – С. 36.
6. Бурканова Е. Ю., Фармаковский Б. В. Высокоскоростной механосинтез с использованием дезинтеграторных установок для получения наноструктурированных порошковых материалов системы металл – керамика износостойкого класса // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 1(69). – С. 80–85.
7. Молдавер В. Л. О специфике исследования микронизации лекарственных веществ // Доклады научно-технического семинара стран Содружества. «Технологические проблемы измельчения и механоактивации». – Могилев, 1992.
8. Молдавер В. Л., Фтиц В. В., Зотиков Ю. М., Горянская Н. Е. Синтетические и биологические полимеры в медицине // Сб. трудов ВНИИФ. – 1990. – Т. 28. – С. 159–164.
9. Геращенко Д. А., Бурканова Е. Ю., Самоделкин Е.А., Маренников Н. В. Разработка технологических подходов получения наноструктурированных композиционных порошков методом сверхскоростного механосинтеза / Вопросы материаловедения. – 2010. – № 2(62) . – С. 64–67.
10. Земляницын Е. Ю., Богомолов В. А. Зерно специального размола // Комбикорма. – 2006. – № 1. – С. 52.
11. Патент РФ № 2419489. Ротор дезинтегратора / Е. Ю. Земляницын, Б. В. Фармаковский, Е. А. Самоделкин, Н. В. Маренников. Опубликовано 27.05.2011.
12. Патент РФ № 2251299. Кормовая добавка / В. С. Злобин, В. А. Примак, Б. В. Фармаковский, П. А. Степанов, Д. И. Чашников, А. Ф. Васильев, Е. Ю. Земляницын. Опубликовано 10.05.2005.

УДК 621.74:621.315.3:669.24

ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ И СВОЙСТВА МИКРОПРОВОДОВ ИЗ НИКЕЛЯ

О. В. ВАСИЛЬЕВА, канд. техн. наук, Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук, М. В. ХРОМЕНКОВ

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

Поступила в редакцию 14.08.2018

После доработки 21.08.2018

Принята к публикации 21.08.2018

Приведены результаты комплексных исследований по разработке технологии получения терморезистивных литых микропроводов из никеля с малыми (0,2–0,6%) добавками хрома. Изучены специфические особенности процесса литья с точки зрения стабильности и достижения высокого значения температурного коэффициента сопротивления.

Ключевые слова: терморезистивный элемент, литой микропровод в стеклянной изоляции, температурный коэффициент сопротивления, межфазное натяжение

ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективные направления развития науки в Петербурге / Отв. ред. Ж. И. Алферов и др. // СПб.: Изд-во ИП Пермяков С.А. – 2015 – С. 137–163.
2. Горынин И. В., Фармаковский Б. В. Длинномерные литые микропровода в стеклянной изоляции с жилой из интерметаллических соединений // Вопросы материаловедения. – 2015.– № 4(84) – С. 58–61.
3. Масайло Д. В., Смелов А. И., Песков Т. В., Фармаковский Б. В. Разработка тензо- и терморезистивных сплавов для литья микропроводов // Вопросы материаловедения. – 2014. – №3(79). – С. 73–78.
4. Геника Ю. И. Расширение области применения термометров сопротивления с чувствительным элементом из микропровода // Микропровод и приборы сопротивления. Вып. 6. – Кишинев: Карта Молдавеняскэ, 1960.

5. Справочник химика. Т. 7 / Под. ред. чл.-корр. АН СССР Б. П. Никольского. Изд. 2. – М.-Л.: Химия, 1966. – С. 932.
6. Фармаковский Б. В. Структура и свойства микропроводов из двойных сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1977. – № 3. – С. 33–38.
7. Фармаковский Б. В. Литые микропровода с высоким значением термоЭДС // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 4(92). – С. 47–51.
8. Глезер А. М., Пермякова И. Е. Нанокристаллы, закаленные из расплава. – М.: Физматлит, 2012 – 360 с.
9. Солнцев Ю. П., Пирайнен В. Ю., Воложанина С. А. Материаловедение специальных отраслей машиностроения. Учеб. пособие. – СПб.: Химиздат, 2007. – 784 с.
10. Литой микропровод и его применение в науке и технике / Под ред. акад. АН МССР Д. В. Гицу. – Кишинев : Штиинца. – 1988. – 424 с.
11. Диагностика высоковольтных резисторов в процессе их изготовления / И. Я. Андроник и др. // Труды республиканской конф. «Приборы сопротивления и резистивная элементная база». – Кишинев, 1982. – С. 40–46.

УДК 621.74:621.315.3

РЕЗИСТИВНЫЕ ЛИТЫЕ МИКРОПРОВОДА НА ОСНОВЕ СИСТЕМ Ni–Cu И Pd–Cu СО ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Б. В. ФАРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук

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

Поступила в редакцию 2.10.2018

После доработки 11.10.2018

Принята к публикации 12.10.2018

Приведены результаты комплексных исследований по разработке прецизионных сплавов для литья микропроводов со знакопеременным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) на основе систем Ni–Cu и Pd–Cu. Изучены причины появления отрицательного значения ТКС микропроводов. Экспериментально определены оптимальные составы сплавов указанных систем, обеспечивающие устойчивое протекание специфического процесса литья. Даны рекомендации по практическому применению полученных микропроводов.

Ключевые слова: терморезистивные литые микропровода в стеклянной изоляции, прецизионные сплавы систем Ni–Cu и Pd–Cu, температурный коэффициент сопротивления

ЛИТЕРАТУРА

1. Фармаковский Б. В., Улин И. В. Функциональные материалы и покрытия – пути и надежды // По пути созидания. Т 2. / Под ред. акад. РАН И. В. Горынина. – СПб., 2009. – С. 149–163.
2. Масайло Д. В., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А., Мазеева А. К. Литые микропровода в стеклянной изоляции из сплавов на основе меди с минимальным температурным коэффициентом сопротивления // Вопросы материаловедения. – 2013. – № 3(75). – С. 81–87.
3. 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.
4. Зотов С. К., Замбахидзе Д. С., Фармаковский Б. В., Шуб В. В., Шамота Л. И. Исследование и разработка резистивных сплавов для литых микропроводов // Электротехническая и приборостроительная промышленность. – 1976. – № 1. – С. 1–8.
5. Крутько З. В., Анищенко Т. И. Структура и свойства литого микропровода // Вопросы формирования метастабильной структуры сплавов. – Днепропетровск, 1984. – С. 98–102.
6. А. с. 1075190 СССР. Устройство для измерения сопротивления / Бадинтер Е. Я., Чернов А. М., Шморгун Е. И., Ящук В. А. Опубл. 23.02.84 // Бюлл. № 7. – С. 48.

7. Патент РФ 2396621. Способ получения наноструктурированных микропроводов / Фармаковский Б. В., Васильева О. В., Кузьмин Н. К., Шавыкин М. А., Кузнецов П. А. Оpubл. 17.11.2008.
8. Патент РФ 2393257. Аморфный сплав для литья микропроводов / Фармаковский Б. В., Беляева А. И., Васильев А. Ф., Земляницын Е. Ю., Кузьмин Н. К., Кузнецов П. А. Оpubл. 02.10.2008.
10. Патент РФ 2351672. Аморфный резистивный сплав на основе никеля / Фармаковский Б. В., Сомкова Е. А., Юрков М. А., Точенюк Д. А., Быстров Р. Ю., Семенов А. С. Оpubл. 12.04.2007.
11. Патент РФ № 2424349. Аморфный сплав на основе никеля для литья микропроводов // Фармаковский Б. В., Васильев А. Ф., Коркина М. А., Кузьмин К. А., Тараканова Т. А., Земляницын Е. Ю. Оpubл. 16.11.2009.

УДК 621.793.6:669.046.58

НАНЕСЕНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ НИКЕЛЬ-КОБАЛЬТОВЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТВАЛЬНЫХ КОНВЕРТОРНЫХ НИКЕЛЕВЫХ ШЛАКОВ

А. А. ВЕСЕЛОВСКИЙ, канд. техн. наук

ООО «Ходовые системы», 454079, Челябинск, пр. Ленина, 13а. E-mail: a_a_ves@mail.ru

Поступила в редакцию 15.08.2018

После доработки 15.10.2018

Принята к публикации 29.10.2018

Рассматривается применение лежалых и вновь образованных отвальных конверторных шлаков в качестве сырья для создания консервационных диффузионных никель-кобальтовых покрытий. Исследуются химический состав отвального конверторного никелевого шлака и диффузионные показатели процесса, а также возможность хлорирования никельсодержащих фаз.

Ключевые слова: никель, отвальный конверторный шлак, диффузионные никель-кобальтовые покрытия

ЛИТЕРАТУРА

1. Лозицкий В. Ю., Гуляев С. В. Формы нахождения никеля в отвальных конверторных шлаках и способ снижения безвозвратных потерь никеля с ними // Цветные металлы. – 2008. – № 11. – С. 49–53.
2. Федичкин С. А. Исследование процесса обеднения конверторного шлака никелевого производства восстановительно-сульфидирующими комплексами, содержащими алюминий // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрФУ, 2005. – 23 с.
3. Веселовский А. А. Доизвлечение никеля из отвальных шлаков с использованием стальной подложки осаждения // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2018. – № 7(163). – С. 316–321.
4. Исследование защитных свойств никельсодержащих диффузионных покрытий, получаемых при диффузионной металлизации стальных изделий в сероводородных средах / А. Г. Соколов, В. П. Артемьев и др. // Нефтегазовое дело. – 2006. – № 3. – С. 12–14.
5. Юрчик С. М. Получение диффузионных никелевых и алюминиевых покрытий в жидкометаллических растворах на порошковых материалах // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар: КГТИ, 2004. – 19 с.
6. Артемьев В. П. Разработка научных и технологических основ химико-термической обработки сталей в жидкометаллических расплавах // Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Краснодар, 2001.
7. Гусейнов А. Г. Повышение работоспособности деталей машин и аппаратуры путем восстановления и упрочнения диффузионной металлизацией // Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МГСУ, 2002.

УДК 666.293.522.019

ДЕФЕКТЫ ЭМАЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ

Т. О. СОШИНА¹, канд. техн. наук, В. Р. МУХАМАДЬЯРОВА²

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Лысьвенский филиал, 618900, Лысьва, ул. Ленина, 2. E-mail: office@lf.pstu.ru

Поступила в редакцию 25.07.2018

После доработки 21.08.2018

Принята к публикации 21.08.2018

Рассмотрена проблема возникновения дефектов эмалевого покрытия, разрушающих целостность эмали, и исследовано влияние физико-механических и коррозионных свойств фритт и термической обработки на дефектность эмалевого покрытия. Дефекты поверхности эмалевого покрытия исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии. Установлено, что дефектность эмалевого покрытия зависит от показателя плавкости, температурного коэффициента линейного расширения, поверхностного натяжения фритт, режимов термической обработки. При снижении скорости обжига эмалевого покрытия изменяется мелкоячеистая структура эмали, размеры дефектов уменьшаются.

Ключевые слова: эмалевые покрытия, фритта, дефект «пузырь эмали», физико-механические характеристики, дилатометрические характеристики, режимы термической обработки

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазуткина О. Р., Казак А. К., Диденко В. В., Мирова Т. В. Эмалировочное производство. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 127 с.

2. Солнцев С. С. Защитные технологические и тугоплавкие эмали. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.

3. Лазуткина О. Р., Казак А. К., Пушкарева Е. А., Хайрисламова И. Ф. Низкотемпературные покровные эмали для стали и алюминия // Стекло и керамика. – 2008. – № 2. – С. 32–33.

4. Волокитин О. Г., Верещагин В. И. Особенности физико-химических процессов получения высокотемпературных силикатных расплавов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 8. – С. 71–76.

5. Алеутдинов А. Д. Устранение дефектов стеклоэмалевого покрытия воздействием сфокусированного светового излучения // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56, № 1/2. – С. 285–286.

6. Шалыгина О. В., Брагина Л. Л., Миронова Г. И. Однофриттные безникелевые стеклоэмалевые покрытия, получаемые по технологии POESTA // Стекло и керамика. – 2014. – № 6. – С. 38–42.

7. ГОСТ Р 52569–2006. Фритты. Технические условия.

8. ГОСТ Р 24788–2001. Посуда хозяйственная стальная эмалированная. Общие технические условия.

УДК 678.745.2:539.434

ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ ПОЛИАМИДИНОВ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Д. М. МОГНОНОВ¹, д-р хим. наук, Ю. В. ТОНЕВИЦКИЙ², канд. хим. наук,
О. Ж. АЮРОВА¹, канд. техн. наук, О. В. ИЛЬИНА¹, канд. техн. наук,
В. Н. КОРНОПОЛЬЦЕВ¹, канд. техн. наук

¹ФГБУН «Байкальский институт природопользования СО РАН», 670047,
Улан-Удэ, Республика Бурятия, ул. Сахьяновой, 6, E-mail: info@binm.ru

²ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет», 670000,
Улан-Удэ, Республика Бурятия, ул. Смолина, 24а, E-mail: univer@bsu.ru

Поступила в редакцию 15.06.2018

После доработки 23.07.2018

Принята к публикации 21.08.2018

Ароматические полиамидины синтезированы поликонденсацией эквимолекулярных количеств бис-имидоилхлоридов с диаминами в среде органических растворителей. Полученные полимеры растворимы в органических растворителях (N,N'-диметилацетамид, N-метил-2-пирролидон и др.), характеризуются большим интервалом между показателями тепло- и термостойкости, что откры-

вают широкие возможности для переработки полиамидинов в изделия современными промышленными методами.

Ключевые слова: полиамидины, терmostойкость, терmostойкость, растворимость, физико-механические показатели

ЛИТЕРАТУРА

1. The Chemistry of amidines and imidates / Ed. S. Patai. – London–NewYork–Sydney–Toronto: John Wiley and Sons, 1975. – 503 p.
2. Граник В. Г. Успехи химии амидинов // Успехи химии. – 1983. –Т. 52, № 4. – С. 669–702.
3. Böhme F., Kunert C., Klinger C., Komber H. Structural influences on the properties of aromatic polyamidines // Macromol. Symp. – 1998. – V. 128. – P. 183–193.
4. Kurita K., Kusayama Y., Iwakura Y. Polyadditions of bisketenimines. I. Syntesis of polyamidines from bisketenimines and diamines // J. Polym. Sci.: Polym. Chem. Ed. – 1977. – V. 15, N 9. – P. 2163.
5. Ogata S., Kakimoto M., Imai Y. Direct synthesis of new aromatic polyamidines from aromatic diamines and benzoic acids by using poly(trimethylsilylphosphate) // Macromol. Chem., Rapid Commun. – 1985. – V. 6, N 12. – P. 835.
6. Тоневицкий Ю. В., Могнонов Д. М., Санжижапов Д. Б., Дорошенко Ю. Е., Хахинов В. В., Самсонова В. Г., Батоева С. О. N-фенилзамещенные полибензимидазолы на основе ароматических диаминов и имидоилхлоридов моно- и дикарбоновых кислот // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. – 2000. – Т. 42, № 6. – С. 1054–1059.
7. Токтонов А. В., Могнонов Д. М., Мазуревская Ж. П., Батоева С. О. Синтез поли- амидинов на основе ароматических бисимидаилхлоридов в растворе // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 2006. – Т. 48, № 1. – С. 5–15.
8. Коршак В. В. Терmostойкие полимеры. – М.: Наука, 1969. – 411 с.
9. Коршак В. В. Химическое строение и температурные характеристики полимеров. – М.: Наука, 1970. – 419 с.
10. Матвеев Ю. И., Аскадский А. А., Журавлев И. В., Слонимский Г. Л., Коршак В. В. О влиянии химического строения полимеров на их терmostойкость // Высокомолекулярные соединения. – 1981. – А23, № 9. – С. 2013–2026.
11. Матвеев Ю. И., Аскадский А. А. Химическое строение и физические свойства полимеров. – М.: Химия, 1983. – 248 с.
12. Фрейзер А. Г. Высокотерmostойкие полимеры / Под ред. А. Н. Праведникова. – М.: Химия, 1971. – 246 с.
13. Альперин В. И., Корольков Н. В., Мотавкин А. В., Рогинский С. Л., Телешов В. А. Конструкционные стеклопластики. – М.: Химия, 1979. – 360 с.
14. Соколов Л. Б., Герасимов В. Д., Савинов В. М., Беляков В. К. Терmostойкие ароматические полиамиды. – М.: Химия, 1975. – 256 с.
15. Могнонов Д. М. Синтез терmostойких полигетероариленов с бензимидазольными циклами // Автореф. дис. ... д-р. хим. наук. – Иркутск, 2002.
16. Григорьева М. Н., Могнонов Д. М., Тоневицкий Ю. В., Стельмах С. А., Очиров О. С. Ароматические полибензимидазолы на основе 4,4'-дифенилметандиизоцианата и бис-(арилен)гидроксамовых кислот // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. – 2018. –Т. 60, № 1. – С. 12–15.
17. Русанов А. Л., Лихачев Д. Ю., Мюллер К. Электrolитические протонпроводящие мембраны на основе ароматических конденсационных полимеров // Успехи химии. – 2009. – Т. 71, № 9. – С. 862–877.
18. Могнонов Д. М., Дашицыренова М. С., Пинус И. Ю., Мазуревская Ж. П., Дорошенко Ю. Е., Ярославцев А. Б. Термодинамические характеристики смесей полигетероариленов // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 2010. –Т. 52, № 6. – С. 956–962.

УДК 678.072:678.049.16:620.17

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ КЛЕЕВЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Д. А. МЕЛЬНИКОВ, А. П. ПЕТРОВА, д-р техн. наук, Л. А. ДЕМЕНТЬЕВА, А. В. ИЛЬИЧЕВ

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

Поступила в редакцию 1.08.2018

После доработки 3.09.2018

Принята к публикации 5.09.2018

Рассмотрены способы изготовления образцов из полимерных матриц для определения механических свойств. Изложены основные подходы к разработке режимов заливки и отверждения полимерных блоков на основе клеевых связующих. Изготовлены образцы из отвержденных клеевых связующих ВСК-14-2м, ВСК-14-2мР и ВСК-14-2мРм и проведены испытания на определение прочности при растяжении и изгибе, удлинения, модуля упругости при растяжении и изгибе.

Ключевые слова: терморезактивные связующие, клеевые связующие, механические свойства полимерных матриц, прочность, модуль упругости, относительное удлинение, клеевые препреги, ПКМ

ЛИТЕРАТУРА

1. Kablov E. N., Chursova L. V., Lukina N. F., Kutsevich K. E., Rubtsova E. V., Petrova A. P. A study of epoxide-polysulfone polymer systems for high-strength adhesives of aviation purpose // Polymer Science. Series D. – 2017. – V.10, N 3. – P. 225–229.

2. Каблов Е. Н., Чурсова Л. В., Бабин А. Н., Мухаметов Р. Р., Панина Н. Н. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 37–42.

3. Каблов Е. Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи // Авиационные материалы. Избранные труды ВИАМ 1932–2002. – М.: МИСИС–ВИАМ, 2002. – С. 23–47.

4. Петрова А. П., Дементьева Л. А., Лукина Н. Ф., Чурсова Л. В. Клеевые связующие для полимерных композиционных материалов на угле- и стеклонаполнителях // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. – 2015. – № 9. Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 19.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-9-11-11.

5. Петрова А. П., Малышева Г. В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: Учеб. пособие / Под общ. ред. Е. Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2017. – 472 с.

6. Дементьева Л. А., Сереженков А. А., Лукина Н. Ф., Куцевич К. Е. Свойства и назначение композиционных материалов на основе клеевых препрегов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. – 2014. – № 8. – Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 19.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-8-6-6.

7. Мельников Д. А., Громова А. А., Раскутин А. Е., Курносов А. О. Теоретический расчет и экспериментальное определение модуля упругости и прочности стеклопластика ВПС-53/120 // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. – 2017. – № 1. – Ст. 08. URL: <http://www.viamworks.ru> (дата обращения: 19.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-1-8-8.

8. Петрова А. П., Лукина Н. Ф., Мельников Д. А., Беседнов К. Л., Павлюк Б. Ф. Исследование свойств отвержденных клеевых связующих // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн., 2017. №10. Ст. 06. URL: <http://www.viamworks.ru> (дата обращения: 19.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-10-6-6.

9. 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.

10. Хасков М. А. Расширение диаграммы «температура–время–превращение» с учетом теплофизических свойств компонентов для оптимизации режимов отверждения полимерных композиционных материалов // Журнал прикладной химии. – 2016. – № 4. – С. 510–518.

11. Дмитриев О. С., Кириллов В. Н., Зуев А. В., Черепихина А. А. Влияние типа наполнителя на оптимальные режимы отверждения толстостенных ПКМ // Клеи. Герметики. Технологии. – 2011. – № 11. – С. 27–36.

12. Касатонов И. С. Метод и автоматизированная система контроля процесса отверждения полимерных композитов по диэлектрическим характеристикам // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тамбовский государственный технический университет. Тамбов. 2012. – 16 с.

13. Мельников Д. А., Хасков М. А., Гусева М. А., Антюфеева Н. В. К вопросу о разработке режимов прессования слоистых ПКМ на основе препрегов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. – 2018. – № 2. Ст. 09. URL: <http://www.viamworks.ru> (дата обращения: 19.07.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-2-9-9.

14. Хасков М. А., Мельников Д. А., Котова Е. В. Подбор температурно-временных режимов отверждения эпоксидных связующих с учетом масштабного фактора // Клеи. Герметики. Технологии. – 2017. – № 10. – С. 24–32.

15. Мельников Д. А., Ильичев А. В., Вавилова М. И. Сравнение стандартов для проведения механических испытаний стеклопластиков на сжатие // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. – 2017. – № 3. Ст. 6. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 20.07.2018). DOI 10.18577/2307-6046-2017-0-3-6-6.

УДК 678.067:539.384:620.178.32

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ В ОБЪЕМЕ ЭПОКСИДНЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ В УСЛОВИЯХ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (ИЗГИБА И СЖАТИЯ)

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

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

Поступила в редакцию 30.08.2018

После доработки 17.09.2018

Принята к публикации 21.09.2018

Проведены микроструктурные и фрактографические исследования характера разрушения в условиях статического изгиба и сжатия образцов эпоксидных углепластиков, подвергнутых длительному (до 5 лет) климатическому старению в различных климатических зонах России: в условиях промышленной зоны умеренного климата Москвы (МЦКИ); умеренного теплого климата Геленджика (ГЦКИ) и теплого влажного климата Сочи (ГНИП РАН). Установлены изменения микроструктуры и основные типы разрушений в объеме углепластиков. Показано, что происходящие изменения структуры и торсионный характер разрушения типичны для эпоксидных углепластиков во всех зонах климатического старения и определяются процессами комплексного проявления механических напряжений и химической деструкции материалов.

Ключевые слова: углепластики, объем, длительное старение, климатические зоны, прочность при изгибе, прочность при сжатии, макро- и микроструктура, сканирующая электронная микроскопия

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № 1 (34). – С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

2. Каблов Е. Н. Тенденции и ориентиры инновационного развития России: Сб. науч.-информ. материалов. Изд. 3-е. – М.: ВИАМ, 2015. – 720 с.

3. Каблов Е. Н. России нужны материалы нового поколения // Редкие земли. – 2014. – № 3. – С. 8–13.

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

5. 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 // Сб. докл. VII науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2008». Ч. 1. – М.: ВИАМ, 2008. – С. 279–286.
6. Каблов Е. Н., Старцев О. В., Кротов А. С., Кириллов В. Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 1. – С. 34–40.
7. Старцев О. В., Вапиров Ю. М., Ярцев В. А., Кривонос В. В., Митрофанова Е. А., Чубарова М. А., Деев И. С. Влияние длительного атмосферного старения на свойства и структуру углепластика // Механика композитных материалов. – 1986. – № 4. – С. 636–642.
8. Войнов С. И., Железина Г. Ф., Соловьева Н. А., Ямщикова Г. А., Тимошина Л. Н. Влияние внешней среды на свойства углепластика, полученного методом пропитки под давлением (RTM) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн., 2015. №2. Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 5.10.2016). DOI:10.18577/2307-6046-2015-0-2-7-7.
9. Kenig S., Moshonov A., Shucrun A. and Marom G. Environmental effects on shear delamination of fabric-reinforced epoxy composites // Int. J. Adhesion and Adhesives. – 1989. – V. 9, N 1. – P. 109–124.
10. Гуляев И. Н., Зеленина И. В., Валева Е. О., Шведкова А. К. Исследование влияния повышенной температуры и влажности на свойства термостойких углепластиков // Конструкции из композиционных материалов. – 2015. – № 3. – С. 55–59.
11. Кириллов В. Н., Вапиров Ю. М., Дрозд Е. А. Исследование атмосферной стойкости полимерных композиционных материалов в условиях атмосферы теплого влажного и умеренно теплого климата // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 4. – С. 31–38.
12. Ефимов В. А., Старцев О. В. Исследование климатической стойкости полимерных материалов. Проблемы и пути их решения // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С. 412–422.
13. Старцев О. В., Мелетов В. П., Деев И. С., Цинцадзе Г. Б., Базенкова Е. Н., Перов Б. В. Атмосферное старение армированных термопластов // Вопросы авиационной науки и техники, сер. Авиационные материалы. – М.: ВИАМ, 1990. – С. 52–58.
14. Ray B. Temperature effect during humid ageing on interfaces of glass and carbon fibers reinforced epoxy composites // Journal of colloid and interface science. – 2006. – V. 298. – P. 111–117.
15. Nakamura T., Singh R. and Vaddadi P. Effects of environmental degradation on flexural failure strength of fiber reinforced composites // Annual Conference of the Society for Experimental Mechanics. Portland, OR, 2005 // Experimental mechanics. – 2006. – V. 46. – P. 257–268.
16. Колесник К. А. Моделирование влагонасыщения полимерных композитов в реальных климатических условиях // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – № 4 (49). – С. 77–86. DOI:10.18577/2071-9140-2017-0-4-77-86.
17. Каблов Е. Н., Старцев О. В., Иноземцев А. А. Влагонасыщение конструктивно-подобных элементов из полимерных композиционных материалов в открытых климатических условиях с наложением термоциклов // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – № 2(47). – С. 56–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-2-56-68.
18. Birger S., Moshonov A. and Kenig S. The effects of thermal and hydrothermal ageing on the failure mechanisms of graphite – fabric epoxy composites subjected to flexural loading // Composites. – 1989. – V. 20, N 4. – P. 341–348.
19. Cowley K D., Beaumont P. W. R. Damage accumulation at notches and the fracture stress of carbon-fibre/polymer composites: combined effects of stress and temperature // Composites science and technology. – 1997. – V. 57, N 9–10. – P. 1211–1219.
20. Bibo G. A., Hogg P. J., Kemp M. Mechanical characterisation of glass-and carbon-fibre-reinforced composites made with non-crimp fabrics // Composites science and technology. – 1997. – V. 57, N 9–10. – P. 1221–1241.
21. Деев И. С., Добрянская О. А., Куршев Е. В. Влияние морской воды на микроструктуру и механические свойства углепластика в напряженном состоянии // Материаловедение. – 2012. – №11. – С. 37–41.

22. 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.
23. 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.
24. Деев И. С., Куршев Е. В., Лонский С. Л. Влияние длительного климатического старения на микроструктуру и характер разрушения эпоксидных стеклопластиков в условиях изгиба // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 2 (90). – С. 166–178.
25. Кириллов В. Н., Ефимов В. А., Шведкова А. К., Николаев Е. В. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства ПКМ // Авиационные материалы и технологии. – 2011. – № 4. – С. 41–45.
26. 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.
27. 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.
28. Деев И.С., Белов П.А., Кобец Л.П. Экспериментальные неклассические эффекты как фундамент «теории торсионов» в механике разрушения полимерных композитов // Композиты и наноструктуры. – 2015. – Т. 7, V. 7, № 2. – С. 2–13.
29. Деев И.С., Куршев Е.В., Лонский С.Л. Влияние длительного климатического старения на микроструктуру поверхности эпоксидных углепластиков// Вопросы материаловедения. – 2018. – № 3 (95). – С. 157–169.
30. Деев И. С., Кобец Л. П. Микроструктура эпоксидных матриц // Механика композитных материалов. – 1986. – № 1. – С. 3–8.
31. 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.
32. 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.
33. Деев И. С., Гуняева А. Г. Некоторые эффекты процесса наноструктурирования терморективных матриц // Композиты и наноструктуры. – 2017. – Т. 9, № 3–4 (35–36). – С. 63–74.

УДК 620.197.5:666.982.24

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В МОРСКОЙ ВОДЕ

Ю. Л. КУЗЬМИН, д-р техн. наук, О. А. СТАВИЦКИЙ, канд. техн. наук

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

Поступила в редакцию 10.09.2018

После доработки 17.09.2018

Принята к публикации 11.10.2018

Приведен анализ способов обеспечения долговременной (до 50 лет) эксплуатации железобетонных морских сооружений. Установлено, что долговечность и безремонтная эксплуатация плавучих и береговых морских сооружений в течение 50 лет и более возможна только при исключении

коррозии стальной арматуры путем применения электрохимической защиты. Приведены параметры электрохимической защиты от коррозии стальной арматуры.

Ключевые слова: морские сооружения, железобетон, электрохимическая защита от коррозии

ЛИТЕРАТУРА

1. Усачев И. Н., Розенталь Н. К. Бетон, стойкий в зоне прилива арктического побережья России // Бетон и железобетон. – 2008. – № 5. – С. 18–22.
2. Мишутин В. А. Влияние водонасыщения на прочность судостроительных бетонов // Технология судостроения. – 1975. – № 6.
3. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. Ф. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – Л.: Стройиздат. 1980.
4. Притула В. А., Нессельман Г. С. Защита от коррозии морских гидротехнических сооружений. – М.: Транспорт, 1973.
5. Применение электрохимической защиты от коррозии для портовых железобетонных конструкций // Коррозия и защита: РЖ. – 1992. – № 10.
6. Кузьмин Ю. Л., Медяник Т. Е., Ротц Л. Д. Электрохимическая защита железобетонных сооружений в морской воде // Вопросы материаловедения. – 2002. – № 3(31) – С. 118–125.
7. Катодная защита арматуры железобетона, ее развитие и влияние в Великобритании и ее промышленных рынках // Коррозия и защита: РЖ. – 1995. – № 2.
8. Современные методы электрохимической защиты от коррозии железобетонных конструкций (Япония). Обзор // Коррозия и защита: РЖ. – 1993. – № 6.
9. Катодная защита от коррозии стальной арматуры железобетонных опор моста // Коррозия и защита: РЖ. – 1994. – № 6.
10. Организация противокоррозионной защиты железобетона в тоннеле под Ла-Маншем // Коррозия и защита: РЖ. – 1994. – № 6.
11. Катодная защита наложенным током железобетонных конструкций мола // Коррозия и защита: РЖ. – 1995. – № 2.
12. Тихонов М. К. Коррозия и защита морских сооружений из бетона и железобетона. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962.
13. Долговечность конструкционных материалов в морском строительстве // Коррозия и защита: РЖ. – 1994. – № 2.
14. Российский морской регистр Судоходства. Правила постройки корпусов морских судов и плавучих сооружений с применением железобетона. – 2000.
15. ГОСТ 31384–2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. – 2009.

УДК 621.039.526:539.4

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ И РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ ТИПА БН С УЧЕТОМ ДЕГРАДАЦИИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Б. З. МАРГОЛИН¹, д-р техн. наук, А. Г. ГУЛЕНКО¹, канд. техн. наук,
А. А. БУЧАТСКИЙ¹, канд. техн. наук, А. А. СОРОКИН¹, канд. техн. наук,
О. Ю. ВИЛЕНСКИЙ², канд. техн. наук, Б. А. ВАСИЛЬЕВ²

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

²АО «ОКБМ-Африкантов», 603074, Нижний Новгород, Бурнаковский проезд, 15, E-mail: sigma@okbm.nnov.ru

Поступила в редакцию 7.08.2018

После доработки 5.09.2018

Принята к публикации 10.09.2018

Приведен обзор основных принципов, используемых в нормативных документах госкорпорации «Росатом» и разработках авторов для продления срока эксплуатации реактора на быстрых нейтронах БН-600 и обоснования проектного срока эксплуатации реакторов БН-800 и БН-1200. На основе анализа основных механизмов охрупчивания и повреждения материалов при эксплуатации сформулированы так называемые критические события и предельные состояния, определяющие прочность и ресурс элементов реакторов на быстрых нейтронах. По материалам настоящей работы на конференции МАГАТЭ – International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles – FR17 “Next Generation Nuclear Systems for Sustainable Development” (Екатеринбург, 2017 г.) был представлен доклад “Basic principles for lifetime and structural integrity assessment of BN-600 and BN-800 fast reactors components with regard for material degradation”.

Ключевые слова: реактор на быстрых нейтронах, прочность и ресурс оборудования, механизмы охрупчивания и повреждения

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Б. А., Виленский О. Ю., Кайдалов В. Б., Каманин Ю. Л., Марголин Б. З., Гуленко А. Г. Разработка методологии и обоснование продления срока эксплуатации корпуса и незаменяемых внутрикорпусных элементов реактора БН-600 до 45 лет // Известия ВУЗов: Ядерная энергетика. – 2011. – № 1. – С. 32–43.
2. Margolin B., Shvetsova V., Gulenko A. Radiation embrittlement modelling in multi-scale approach to brittle fracture of RPV steels // Int. J. Fract. – 2013. – V. 179. – P. 87–108.
3. Курсевич И. П., Марголин Б. З., Прокошев О. Ю., Кохонов В. И. Механические свойства аустенитных сталей при нейтронном облучении: влияние различных факторов // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 4(48). – С. 55–68.
4. Effect of neutron irradiation on tensile properties of materials for pressure vessel internals of WWER type reactors / A. A. Sorokin, B. Z. Margolin, I. P. Kursevich et al. // Journal of Nuclear Materials. – 2014. – V. 444. – P. 373–384.
5. Марголин Б. З., Сорокин А. А. Физико-механическая модель вязкого разрушения облученных аустенитных сталей // Проблемы прочности. – 2013. – № 2. – С. 5–30.
6. Margolin B., Sorokin A., Smirnov V., Potapova V. Physical and mechanical modelling of neutron irradiation effect on ductile fracture. Part 1. Prediction of fracture strain and fracture toughness of austenitic steels, Journal of Nuclear Materials. – 2014. – V. 452, is. 1–3. – P. 595–606.
7. Минкин А. И., Марголин Б. З., Смирнов В. И., Сорокин А. А. Развитие модели для прогнозирования статической трещиностойкости аустенитных материалов в условиях нейтронного облучения // Вопросы материаловедения. – 2013. – № 3(75). – С. 107–119.
8. The radiation swelling effect on fracture properties and fracture mechanisms of irradiated austenitic steels. Part I. Ductility and fracture toughness / B. Margolin, A. Sorokin, V. Shvetsova et al. // Journal of Nuclear Materials. – 2016. – V. 480. – P. 52–68.
9. Porter D. L. Ferrite formation in neutron-irradiated type 304L stainless steel // Journal of Nuclear Materials. – 1979. – V. 79, № 2. – P. 406–411.
10. Margolin B., Sorokin A., Kursevich I. FCC-to-BCC phase transformation in austenitic steels for WWER internals with significant swelling // Proceedings of International Symposium Fontevraud 7, France, 26–30 September 2010, O12-A097-T02.
11. Марголин Б. З., Курсевич И. П., Сорокин А. А., Лапин А. Н., Кохонов В. И., Неустроев В. С. Охрупчивание и трещиностойкость высокооблученных аустенитных сталей для элементов ВКУ ВВЭР. Сообщение 1. Связь радиационного распухания с радиационным охрупчиванием – экспериментальные результаты // Проблемы прочности. – 2009. – № 6. – С. 5–16.
12. Марголин Б. З., Курсевич И. П., Сорокин А. А., Васина Н. К., Неустроев В. С. Охрупчивание и трещиностойкость высокооблученных аустенитных сталей для элементов ВКУ ВВЭР. Сообщение 2. Связь радиационного распухания с радиационным охрупчиванием – физические и механические закономерности // Проблемы прочности. – 2010. – № 2. – С. 25–38.
13. Fish R. L., Hunter C. W. Tensile Properties of Fast Reactor Irradiated Type 304 Stainless Steel // Irradiation Effects on the Microstructure and Properties of Metals, ASTM STP 611, American Society for Testing and Materials, 1976. – P. 119–138.
14. Swelling and Tensile Property Evaluations of High-Fluence EBR-II Thimbles / R. L. Fish, J. L. Straalsund et al. – ASTM STP 529, 1973. – P. 149–164.

15. Claudson T. T., Barker R. W. The effects of fast flux irradiation on the mechanical properties and dimensional stability of stainless steel // Nuclear application and technology. – 1970. – V. 9. – P. 10–23.
16. Курсевич И. П., Марголин Б. З., Прокошев О. Ю., Смирнов В. И., Федорова В. А., Нестерова Е. В., Петров С. Н. Влияние длительного эксплуатационного старения на механические свойства и структуру аустенитной стали 10X18H9 и металла сварных швов // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 3(71). – С. 109–125.
17. Васина Н. К., Марголин Б. З., Гуленко А. Г., Курсевич И. П. Радиационное распухание аустенитных сталей: влияние различных факторов. Обработка экспериментальных данных и формулировка определяющих уравнений // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 4(48). – С. 69–89.
18. Марголин Б. З., Мурашова А. И., Неустроев В. С. Анализ влияния вида напряженного состояния на радиационное распухание и радиационную ползучесть аустенитных сталей // Проблемы прочности. – 2012. – № 3. – С. 5–24.
19. Determination of In-Service Change in the Geometry of WWER-1000 Core Baffle: Calculations and Measurements / B. Z. Margolin, A. Ya. Varovin, A. I. Minkin et al. // Proceedings of International Symposium Fontevraud 8, France, 15–18 September 2014. 143–T02.
20. Марголин Б. З., Гуленко А. Г., Бучатский А. А., Нестерова Е.В., Каштанов А. Д. Исследование влияния термического старения на длительную прочность и пластичность стали X18H9 // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 4 (64) . – С. 118–127.
21. RCC-MR: Design and construction rules for mechanical components of FBR Nuclear Islands, Appendix A16, Edition 2002, AFCEN, France, 2002.
22. Марголин Б. З., Гуленко А. Г., Курсевич И. П., Бучатский А. А. Моделирование разрушения материалов при длительном статическом нагружении в условиях ползучести и нейтронного облучения. Сообщение 1. Физико-механическая модель // Проблемы прочности. – 2006. – № 3. – С. 5–22.
23. Margolin B. Z., Gulenko A. G., Buchatsky A. A. // Proceedings of ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Division Conference PVP2009 July 26–30, 2009, Prague, Czech Republic, 2009, PVP2009-77084.
24. Карзов Г. П., Марголин Б. З., Швецова В. А. Физико-механическое моделирование процессов разрушения. – СПб.: Политехника, 1993.
25. Гуленко А. Г., Марголин Б. З., Бучатский А. А., Нуждов А. А. Построение расчетных кривых длительной прочности аустенитных сталей X18H9 и 08X16H11M3 с учетом нейтронного облучения // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 3(91). – С. 168–181.
26. Марголин Б. З., Гуленко А. Г., Курсевич И. П., Бучатский А. А. Моделирование разрушения материалов при длительном статическом нагружении в условиях ползучести и нейтронного облучения. Сообщение 2. Прогнозирование длительной прочности аустенитных материалов // Проблемы прочности. – 2006. – № 5. – С. 5–15.
27. Марголин Б. З., Гуленко А. Г., Бучатский А. А., Балакин С. М. Моделирование разрушения материалов при длительном статическом нагружении в условиях ползучести и нейтронного облучения. Сообщение 3. Прогнозирование скорости роста трещины в аустенитных материалах // Проблемы прочности. – 2006. – № 6. – С. 5–16.
28. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002–86), Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с.
29. Марголин Б. З., Бучатский А. А., Гуленко А. Г., Федорова В. А., Филатов В. М. Метод прогнозирования сопротивления разрушению материала при циклическом нагружении в условиях вязкоупругопластического деформирования и нейтронного облучения // Проблемы прочности. – 2008. – № 6. – С. 5–24.
30. Филатов В.М., Анихимовский Ю.А., Соловьев Д.В., Васютин А.Н. Испытания на длительную малоцикловую усталость при неизотермическом нагружении // Заводская лаборатория. – 1975. – Т. 11, № 4. – С. 472–475.
31. Трощенко В. Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – Киев: Наукова думка, 1987. – 252 с.
32. Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

33. Виленский О. Ю., Крылов А. Н., Осипов С. Л., Осетров Д. Л., Рогожкин С. А., Марголин Б. З., Прокошев О. Ю., Поздняков М. Л., Гуленко А. Г. Расчетно-экспериментальные исследования причин образования сетки трещин в районе верхней трубной доски теплообменника реактора БН-600 // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2015. – № 1. – С. 56–64.

УДК 669.231:621.793.7:621.3.035.2

КОНТРОЛЬ ВЕЛИЧИНЫ СЦЕПЛЕНИЯ ПЛАТИНОВОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЛАТИНОНИОБИЕВЫХ АНОДОВ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Ю. Л. КУЗЬМИН, д-р техн. наук, О. А. СТАВИЦКИЙ, канд. техн. наук,
В. О. ЛАЩЕВСКИЙ, канд. техн. наук, Т. И. БОБКОВА, канд. техн. наук, А. Л. ЯНЬКОВ
НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург,
Шпалерная ул., 49, E-mail: mail@crism.ru

Поступила в редакцию 22.08.2018

После доработки 11.09.2018

Принята к публикации 14.09.2018

Приводятся методики и результаты определения величины сцепления платинового покрытия при практическом изготовлении платинониобиевых рабочих электродов для анодов систем катодной защиты от коррозии и дана оценка факторов, влияющих на эту величину.

Ключевые слова: платинониобиевые аноды, платиновое покрытие, магнетронное напыление

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин Ю. Л., Троценко В. Н., Медяник Т. Е., Лащевский В. О., Седельников Н. Г. Электродные материалы для систем катодной защиты от коррозии судов и морских сооружений // Российский химический журнал. – 2009. – Т. LIII, № 4. – С. 62–69.
2. Ставицкий О. А. Исследование и разработка ледостойких анодов для систем катодной защиты от коррозии судов ледового плавания, ледоколов и морских сооружений для нефтегазодобычи на шельфе арктических морей // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей». – 2017. – С. 11–14
3. Кузьмин Ю. Л., Троценко В. Н., Лащевский В. О., Смирнов С. М. Нанотекстурированные платинониобиевые рабочие электроды для анодов систем катодной защиты судов от коррозии // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 1(69) – С. 114–119.
4. ГОСТ 9.302–88 Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля.