

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

- Князюк Т. В., Новосколыцев Н. С., Зисман А. А., Хлусова Е. И.* Влияние микролегирования ниобием на кинетику статической и динамической рекристаллизации при горячей прокатке среднеуглеродистых высокопрочных сталей..... 5
- Коротковская С. В., Сыч О. В., Хлусова Е. И.* Исследование взаимосвязи характеристик работоспособности и структуры зоны термического влияния в сталях ферритно-бейнитного класса 16
- Оленин М. И., Горынин В. И., Махорин В. В.* Повышение хладостойкости стали марки 09Г2С за счет программного упрочнения, совмещенного с дополнительным среднетемпературным отпуском..... 27
- Тимофеев М. Н., Галяткин С. Н., Самойленко Р. И., Маркова Ю. М.* Исследование структуры сварного соединения стали типа 15Х2МФА, выполненного с малоуглеродистой наплавкой без термической обработки..... 35
- Оспенникова О. Г., Мин П. Г., Роголев А. М., Вадеев В. Е.* Исследование химического состава, структуры и механических свойств сплава ЭП648, полученного методами деформации, литья по выплавляемым моделям и селективного лазерного сплавления..... 44
- Сергеева А. М., Ловизин Н. С., Соснин А. А.* Влияние совмещения непрерывного литья с одновременной деформацией металла в твердожидком состоянии на структуру и свойства металлоизделий из сплава В95..... 55
- Савченко А. М., Коновалов Ю. В., Лаушкин А. В.* Первый и второй законы термодинамики: взаимосвязь, «несогласованность», скрытые эффекты 63

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Воробьева М. В., Перфилов С. А., Поздняков А. А., Ломакин Р. Л., Бланк В. Д.* Новые возможности породоразрушающего инструмента, оснащенного алмазно-твердосплавными режущими элементами 74
- Щегольков А. В., Парфимович И. Д., Комаров Ф. Ф., Щегольков А. В., Туголуков Е. Н.* Оптически регулируемые нанокompозитные электрохромные пленки WO₃/rGO для управления светопропусканием и защиты от электромагнитного излучения 85
- Герашенкова Е. Ю., Васильев А. Ф., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В.* Технология получения композиционного наноструктурированного порошка для нанесения защитных покрытий..... 97
- Бобкова Т. И., Васильев А. Ф., Самоделкин Е. А., Фармаковский Б. В.* Нанокompозиционное покрытие с высокой микротвердостью на основе агломерированной порошковой системы сплав Х20Н80–WC..... 104
- Красиков А. В., Быкова А. Д., Меркулова М. В., Марков М. А.* Исследование технологии электрохимического нанесения нанокристаллических покрытий никель – вольфрам из цитратного электролита..... 111
- Алеутдинова М. И., Фадин В. В.* Износ металлических материалов при сухом скольжении с током по молибдену 118

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Колпачков Е. Д., Курносоев А. О., Петрова А. П., Раскутин А. Е.* Гибридные полимерные композиционные материалы для авиации на основе волокнистых наполнителей (Обзор) 126
- Трясунов В. С., Лишевич И. В., Николаев Г. И., Шульцева Е. Л., Баруев В. Е., Маханько А. В.* К вопросу определения характеристик пожаробезопасности трехслойных полимерных композиционных материалов для судовых корпусных конструкций 139
- Примаченко Б. М., Строкин К. О.* Теоретические и экспериментальные исследования композиционных материалов, армированных углеродными тканями. Часть 5. Моделирование и экспериментальные исследования деформации структуры углеродной ткани 148

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

Бутусова Е. Н., Мишакин В. В. Оценка ранних стадий разрушения при коррозионном растрескивании под напряжением трубных сталей вихретоковым методом	154
Вагапов Р. К., Запелалов Д. Н., Ибатуллин К. А. Оценка коррозионной стойкости материалов в условиях конденсации влаги и наличия диоксида углерода	163
Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов	176

УДК 669.15–194.2:621.771.016:620.186.5

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ НИОБИЕМ НА КИНЕТИКУ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Т. В. КНЯЗЮК, канд. техн. наук, Н. С. НОВОСКОЛЬЦЕВ, А. А. ЗИСМАН, д-р физ.-мат. наук,
Е. И. ХЛУСОВА, д-р техн. наук

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

Поступила в редакцию 14.11.2019

После доработки 24.12.2019

Принята к публикации 26.12.2019

Определены температурно-деформационные условия протекания динамической и статической рекристаллизации среднеуглеродистой стали, микролегированной титаном, бором, ванадием и ниобием, в процессе горячей деформации со скоростью 1 с^{-1} . Установлено, что в условиях горячей прокатки ниобий в стали препятствует завершению динамической рекристаллизации, а при температурах ниже 970°C резко замедляет статическую рекристаллизацию в паузах между последовательными обжатиями.

Ключевые слова: среднеуглеродистая высокопрочная сталь, микролегирование ниобием, статическая и динамическая рекристаллизация, горячая прокатка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morito, S., Tanaka H., Konishi R., Furuhashi T., Maki T. The morphology and crystallography of lath martensite in Fe–C alloys // *Acta Mater.* – 2003. – № 51. – P. 5323–5331.
2. Wang C., Wang M., Shi J., Hui W., Dong H. Effect of Microstructure Refinement on the Strength and Toughness of low alloy martensitic steel // *J. Mater. Sci. Technol.* – 2007. – № 23. – P. 659–664.
3. Prawoto Y., Jasmawati N., Sumeru K. Effect of Prior Austenite Grain Size on the Morphology and Mechanical Properties of Martensite in Medium Carbon Steel // *J. Mater. Sci. Technol.* – 2012. – № 28. – P. 461–466.
4. Kajjalainen A. J., Suikkanen P., Karjalainen L. P., Jonas J. J. Effect of austenite pancaking on the microstructure, texture, and bendability of an ultrahigh-strength strip steel // *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.* – 2014. – №45. – P. 1273–1283.
5. Круглова А. А., Орлов В. В., Сыч О. В., Хлусова Е. И. Усовершенствование химического состава и технологических режимов производства штрипса К65-К70 (Х80–Х90) на базе имитационного моделирования // *Металлург.* – 2013. – № 2. – С. 50–58.
6. Голосиенко С. А., Сошина Т. В., Хлусова Е. И. Новые высокопрочные хладостойкие стали для арктического применения // *Производство проката.* – 2014. – № 2. – С. 17–24.
7. 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.
8. Рингинен Д. А., Частухин А. В., Хадеев Г. Е., Эфрон Л. И., Ильинский В. И. Эволюция зеренной структуры аустенита и выделений микролегирующих элементов при нагреве под прокатку стали класса прочности К65 (Х80) // *Металлург.* – № 11. – 2013. – С. 67–74.

9. Частухин А. В., Рингинен Д. А., Хадеев Г. Е., Эфрон Л. И. Кинетика статической рекристаллизации аустенита микролегированных ниобием трубных сталей // *Металлург.* – № 12. – 2015. – С. 33–38.
10. Частухин А. В., Рингинен Д. А., Хадеев Г. Е., Эфрон Л. И. Формирование аустенитной структуры при нагреве слябов из микролегированных ниобием трубных сталей // *Металлург.* – № 7. – 2015. – С. 25–31.
11. 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 // *Вопросы материаловедения.* – 2018. – № 4 (96). – С. 14–41.
12. Opiela M., Ozgowicz W. Effects of Nb, Ti and V on recrystallization kinetics of austenite in microalloyed steels // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.* –2012. – N 55/2. – P. 759–771.
13. Ozgowicz W., Opiela M., Grajcar A., Kalinowska- Ozgowicz E., Krukiewicz W. Metallurgical products of microalloy constructional steels // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.* – 2011. – N 44/1. – P. 7–34.
14. Рябов В. В., Хлусова Е. И., Голосиенко С. А., Мотовилина Г. Д. Новые стали для сельскохозяйственного машиностроения // *Металлург.* – 2015. – № 6. – С. 59–65.
15. 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.* – 2003. – A 361. – P. 367–376.
16. Зисман А. А., Сошина Т. В., Хлусова Е. И. Исследование рекристаллизации аустенита стали 09ХН2МД в условиях горячей прокатки методом релаксации напряжений // *Вопросы материаловедения.* – 2012. – № 2. – С. 16–24.
17. Зисман А.А., Сошина Т.В., Хлусова Е.И. Выявление бывших зерен аустенита методом термического травления в вакууме при имитации ТМО низкоуглеродистых сталей // *Металлург.* – 2013. – № 2. – С. 63–70.
18. Benscoter A. O., Perricone M. J. Marshall's Reagent: Origins, Modifications, and New Applications // *Microsc. Microanal.* – 2005. – № 11. – P. 76–77.
19. 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. 20–32.
20. Троцан А. И., Каверинский В. В., Бродецкий И. Л. Прогнозирование выделения карбонитридов и карбидов в микролегированной стали с применением термодинамических расчётов // *Металлофизические новейшие технологии.* – 2013. – Т. 35, № 7. – С. 919–931.
21. Opiela M. Analysis of the kinetics of precipitation of MX-type interstitial phases in microalloyed steels // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.* – 2011. – N 47/1. – P. 7–18.

УДК 669.14.018.295:621.791.051.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТОСПОСОБНОСТИ И СТРУКТУРЫ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ В СТАЛЯХ ФЕРРИТНО-БЕЙНИТНОГО КЛАССА

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

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», 191015, Санкт-Петербург, Шпалерная ул., 49, E-mail: npk3@crism.ru

Поступила в редакцию 22.01.2020

После доработки 27.01.2020

Принята к публикации 12.02.2020

Представлены результаты исследования структуры, работы удара и трещиностойкости имитированной зоны термического влияния низкоуглеродистой низколегированной стали с гарантированным пределом текучести 420 МПа на участках крупного зерна и полной перекристаллизации. Моделирование термических циклов сварки выполнено на комплексе Gleeble 3800.

Ключевые слова: зона термического влияния, имитационное моделирование, крупнозернистый участок, участок полной перекристаллизации, структура, феррит, бейнит, скорость охлаждения, работа удара, трещиностойкость СТ0D.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пазилова У. А., Круглова А. А., Ильин А. В., Мотовилина Г. Д., Хлусова Е. И. Влияние температуры и скорости деформации на структуру и характер разрушения высокопрочных сталей при имитации термического цикла сварки и послесварочного отпуска // *Физика металлов и металловедение*. – 2015. – Т. 116, № 6. – С. 642–651.
2. Liessem A., Erdeien-Peppler M. A critical view on the significance of HAZ toughness testing // *Proceedings of International pipeline conference IPC 2004, Calgary, Alberta, Canada, October 4–8. 2004.*
3. Леонтьев П. А., Иванова А. С., Симонов Ю. Н. Исследование фазовых превращений и структуры кремнистых сталей с различным содержанием углерода при непрерывном охлаждении // *Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение*. – 2013. – Т. 15, № 4. – С. 33–39.
4. Ардентов В. В., Малышевский В. А., Правдина Н. Н., Рыбин В. В., Семичева Т. Г. Структура и свойства зоны термического влияния высокопрочной конструкционной стали // *Физика и химия обработки материалов*. – 1985. – № 5. – С. 119–124.
5. Костин В. А., Григоренко В. Д., Позняков В. Д., Жданов С. Л., Соломийчук Т. Г., Зубер Т. А., Максименко А. А. Влияние термического цикла сварки на структуру и свойства микролегированных конструкционных сталей // *Автоматическая сварка. Научно-технический раздел*. – 2012. – N 12. – С. 10–16.
6. Namada M. Control of strength and toughness at heat affected zone // *Welding International*. – 2003. – N 17 (4). – P. 265–270.
7. Орыщенко А. С., Хлусова Е. И., Шарапов М. Г. *Металловедение конструкционных свариваемых сталей*. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 66 с.
8. Круглова А. А., Шарапова Д. М., Орлов В. В. Моделирование тепловых воздействий на зону термического влияния высокопрочной трубной стали К70 при двухпроходной дуговой сварке под флюсом // *Металлург*. – 2014. – № 9. – С. 98–104.
9. Ильин А. В., Филин В. Ю., Артемьев Д. М. Сопоставление различных методик оценки трещиностойкости металла сварных конструкций, работающих в арктических условиях // *Научно-технический сборник РМРС*. – 2015. – № 40/41. – С. 62–71.
10. Ильин А. В., Филин В. Ю. Разработка программного комплекса, обеспечивающего предварительные расчеты и обработку результатов испытаний на трещиностойкость при статическом нагружении с учетом требований отечественной и зарубежной нормативной документации // *Вопросы материаловедения*. – 2002. – № 4(32). – С. 80–89.

УДК 669.14.018.41:621.789:539.4

ПОВЫШЕНИЕ ХЛАДОСТОЙКОСТИ СТАЛИ МАРКИ 09Г2С ЗА СЧЕТ ПРОГРАММНОГО УПРОЧНЕНИЯ, СОВМЕЩЕННОГО С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ СРЕДНТЕМПЕРАТУРНЫМ ОТПУСКОМ

М. И. ОЛЕНИН, д-р техн. наук, В. И. ГОРЫНИН, д-р техн. наук, В. В. МАХОРИН

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

Поступила в редакцию 12.03.2019

После доработки 10.12.2019

Принята к публикации 10.12.2019

Рассмотрен способ повышения хладостойкости конструкционных сталей ферритно-перлитного класса. Установлено, что на хладостойкость термоулучшенной стали марки 09Г2С положительное влияние оказывает процесс программного упрочнения, совмещенный с дополнительным среднетемпературным отпуском. Определены механические свойства стали марки 09Г2С до и после дополнительного среднетемпературного отпуска. Показано, что новая технология позволяет сместить критическую температуру хрупкости, определенную по критерию энергоемкости

разрушения, на 15°C в область более низких температур и при этом повысить более чем в 3 раза ударную вязкость стали 09Г2С при температуре минус 90°C без изменения ее прочностных свойств.

Ключевые слова: сталь ферритно-перлитного класса, хладостойкость, программное упрочнение, среднетемпературный отпуск, механические свойства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиндин И. А., Неклюдов И. М. Физика программного упрочнения. – Киев: Наук. Думка, 1979. – 184 с.
2. Кондратов В. К., Скворцов А.И. Зависимость физико-механических свойств мартенситно-старееющих сталей от процесса старения // МиТОМ. – 1975. – № 9. – С. 18–21.
3. Алексеева Л. Е., Суворов С.О. Отпуск под напряжением закаленной стали // Проблемы металлов и физика металлов. – 1972. – № 4. – С. 182–190.
4. Пастухова Ж. В. Применение динамического старения для повышения надежности изделий из коррозионно-стойких мартенситно-старееющих сталей // Методические рекомендации краткосрочного семинара (26–27 ноября 1985 г.). – ЛДНТП, 1987. – С. 15–18.
5. Энтин Р. И., Гиндин И. А., Саррак В. И. Влияние программного нагружения на механические свойства конструкционных сталей // ФММ. – 1970. – Т. 29, № 6. – С. 1215–1220.
6. Бодяко М. Н., Астапчик С. А., Ярошевич Г. Б. Мартенситно-старееющие стали. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.
7. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении – М.: Металлургия, 1973. – 534 с.
8. Пастухова Ж. П., Рахштадт А. Г., Каплун Ю. А. Динамическое старение сплавов. – М.: Металлургия, 1985. – 223 с.
9. Неклюдов И. М., Стародубцев Я. Д., Соколенко В. И. Влияние магнитных полей на сопротивление пластической деформации кристаллических тел // УФЖ. – 2005. – Т. 50, № 8. – С. 113–121.
10. Гурьянов Г. Н., Смирнов С. В., Зуев Б. М. Влияние методов упрочнения дисперсионно-твердеющего сплава ЭП-543У на основные показатели качества проволоочных пружин // Качество и обработка материалов. – 2014. – № 2. – С. 52–57.
11. Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. Н. Рентгеноструктурный анализ. – М.: Металлургия, 1970. – 234 с.
12. Лебедев Т. А., Оленин М. И. Термическая правка труб из мартенситно-старееющих сталей // МиТОМ. – № 10. – 1985. – С. 46–47.
13. Оленин М. И. Применение фазовой сверхпластичности для правки тонкостенных изделий из мартенситно-старееющих сталей // Технология машиностроения. – 2012. – № 10 (124). – С. 8–10.
14. Гуляев А. П., Гуляев А. А. Металловедение: Учебник для вузов. Изд. 7-е. – М.: ИД Альянс, 2012. – 644 с.
15. Разрушение. Т. 6: Разрушение металлов / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1976. – 496 с.
16. Горынин В. И., Оленин М. И. Пути повышения хладостойкости сталей и сварных соединений. – СПб.: ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», 2017. – 342 с.
17. Горынин В. И., Кондратьев С. Ю., Оленин М. И. Повышение сопротивляемости хрупкому разрушению перлитных и мартенситных сталей при термическом воздействии на морфологию карбидной фазы // МиТОМ. – 2013. – № 10. – С. 22–29.
18. Неклюдов И. М., Соколенко В. И., Нетесов В. М. Развитие в ННЦ "ХФТИ" методов направленного изменения структуры и свойств конструкционных материалов при активизации релаксационных процессов: Обзор, посвященный 80-летию Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт» // Успехи физики металлов. – 2008. – Т. 9. – С. 171–193.
19. Неклюдов И. М., Камышанченко Н. В. Программное упрочнение материалов // Научные ведомости – 2005. – № 2, вып. 11. – С. 117–130.
20. Звягин П. Н. Прикладной анализ временных рядов: Учеб. пособие. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 98 с.

21. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002–86) / Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с.

УДК 621.791.052:669.14.018.44:629.561.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ ТИПА 15Х2МФА, ВЫПОЛНЕННОГО С МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ НАПЛАВКОЙ БЕЗ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

М. Н. ТИМОФЕЕВ, канд. техн. наук, С. Н. ГАЛЯТКИН, канд. техн. наук, Р. И. САМОЙЛЕНКО,
Ю. М. МАРКОВА

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

Поступила в редакцию 23.01.2020

После доработки 28.01.2020

Принята к публикации 12.02.2020

Приведены результаты исследования структуры стали типа 15Х2МФА на различных участках сварного соединения, выполненного без термической обработки с применением малоуглеродистой наплавки. Показано наличие в малоуглеродистой наплавке трех зон, различающихся содержанием химических элементов, переходящих из основного металла в наплавленный, а также склонностью к образованию закалочных структур при сварке. Разработаны мероприятия, позволяющие повысить прочность монтажных сварных соединений.

Ключевые слова: автоматическая сварка под флюсом, структура металла шва, малоуглеродистая наплавка

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев М. Н., Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Михалева Э. И., Литвинов С. Г., Александрин А. Г., Башулин Д. Л., Шубин О. В. Повышение служебных характеристик металла монтажных сварных соединений транспортных атомных энергетических установок из теплоустойчивых сталей. Часть 1: Технология сварки теплоустойчивых сталей углеродистыми сварочными материалами в условиях отсутствия термической обработки и опыт применения сварочных материалов // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 4 (92). – С. 131–139.

2. Тимофеев М. Н., Галяткин С. Н., Михалева Э. И., Шубин О. В. Повышение служебных характеристик металла монтажных сварных соединений транспортных атомных энергетических установок из теплоустойчивых сталей. Часть 2. Исследование механических свойств металла «силовых» малоуглеродистых наплавов в зависимости от технологических параметров сварки // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 4 (92). – С. 140–148.

3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (НП-104-18). – М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2018. – 260 с.

4. Кархин В. А. Тепловые основы сварки: Учебное пособие. – Л.: 1990. – 99 с.

5. Барахтин Б. К. Немец А. М. Металлы и сплавы. Анализ и исследование. Физико-аналитические методы исследования металлов и сплавов. Неметаллические включения: Справочник. – СПб: НПО «Профессионал», 2006. – 490 с.

6. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. – М.: Техносфера, 2004. – 384 с.

7. Карзов Г. П., Теплухина И. В., Богданов В. И., Цветков А. С., Титова Т. И., Шульган Н. А., Ратушев Д. В., Журавлева О. Н., Афанасьева О. Н., Аникин С. Ю. Опыт производства крупногабаритных заготовок из стали 15Х2МФА-А модификация А для корпуса реактора Курской АЭС-2 по проекту ВВЭР-ТОИ // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2019. – № 3. – С. 27–36.

8. Макаров Э. Л., Якушин Б. Ф. Теория свариваемости сталей и сплавов / Под ред. Э. Л. Макарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 487 с.

9. Конищев Б. П., Курланов С. А., Потапов Н. Н. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие. Т. 1: Защитные газы и сварочные флюсы / Под общ. ред. Н. Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.

10. Матросов М. Ю., Лясоцкий И. В., Кичкина А. А., Смирнов М. А., Пышминцев И. Ю. Особенности и классификация структур низкоуглеродистых низколегированных высокопрочных сталей // Сталь. – 2012. – № 1. – С. 65–74.

11. Коберник Н. В., Чернышов Г. Г., Гвоздев П. П., Линник А. А. Влияние рода и полярности тока на плавление электродного и основного металла при сварке под флюсом // Сварка и диагностика. – 2011. – № 5. – С. 24–27.

12. Тимофеев М. Н., Галяткин С. Н. Особенности применения переменного тока при автоматической сварке под флюсом оборудования АЭУ из теплоустойчивых сталей // Сварочное производство. – 2019. – № 8. – С. 22–28.

УДК 669.245.018.44:[621.74.045+621.762.5]

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА ЭП648, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДАМИ ДЕФОРМАЦИИ, ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ И СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

О. Г. ОСПЕННИКОВА, д-р техн. наук, П. Г. МИН, канд. техн. наук, А. М. РОГАЛЕВ, В. Е. ВАДЕЕВ

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

Поступила в редакцию 13.11.2019

После доработки 27.02.2020

Принята к публикации 25.03.2020

Исследованы химический состав, структура и механические свойства жаропрочного никелевого сплава марки ЭП648, полученного разными способами: деформацией, литьем по выплавляемым моделям и селективным лазерным сплавлением. Показано, что деформированный материал характеризуется низкой пористостью, повышенными ударной вязкостью и пластичностью, литой – имеет более крупное зерно, высокий уровень длительной прочности и малоциклового усталости, а для материала, полученного методом селективного лазерного сплавления, характерны повышенное содержание кислорода и азота, наличие мелкозернистой структуры с сильно выраженной разнородностью и наследственностью, а также повышенная кратковременная прочность.

Ключевые слова: жаропрочный сплав, деформация, литье, селективное лазерное сплавление, химический состав, структура, прочность, пластичность, усталость, ударная вязкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н., Сидоров В. В., Каблов Д. Е., Мин П. Г., Ригин В. Е. Ресурсосберегающие технологии выплавки перспективных литейных и деформируемых супержаропрочных сплавов с учетом переработки всех видов отходов // Электрометаллургия. – 2016. – № 9. – С. 30–41.

2. Мин П. Г., Вадеев В. Е., Калицев В. А., Крамер В. В. Рафинирование некондиционных отходов деформируемых никелевых сплавов в вакуумной в вакуумной индукционной печи // Технология металлов. – 2015. – № 4. – С. 8–13.

3. Мин П. Г., Вадеев В. Е., Крамер В. В. Технология полной переработки отходов деформируемых жаропрочных сплавов // Вестник машиностроения. – 2019. – № 5. – С. 71–75.

4. Федотов А. В. Новые технологии порошковой металлургии // Материалы в машиностроении. – 2012. – № 1 (76). – С. 53–56.

5. Bremen S., Meiners W., Diatlov A. Selective Laser Melting. A manufacturing technology for the future? // Laser Tech. J. – 2012. – Т. 9, N 2. – С. 33–38.

6. Евгенов А. Г., Рогалев А. М., Неруш С. В., Мазалов И. С. Исследование свойств сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления металлических порошков // Труды ВИАМ. – 2015. – № 2. – С. 2.

7. Евгенов А. Г., Рогалев А. М., Карачевцев Ф. Н., Мазалов И. С. Влияние горячего изостатического прессования и термической обработки на свойства сплава ЭП648, синтезированного методом селективного лазерного сплавления // Технология машиностроения. – 2015. – № 9. – С. 11–16.

8. Каблов Д. Е., Сидоров В. В., Мин П. Г., Вадеев В. Е. Влияние примесей и лантана на эксплуатационные свойства сплава ЖС36-ВИ // *Металлургия машиностроения*. – 2015. – № 6. – С. 19–23.
9. Мин П. Г., Каблов Д. Е., Сидоров В. В., Вадеев В. Е. Влияние примесей серы, фосфора и кремния на структуру и свойства монокристаллов никелевых жаропрочных сплавов // *Материаловедение*. – 2018. – № 8. – С. 13–18.
10. Мин П. Г., Сидоров В. В., Каблов Д. Е., Вадеев В. Е. Рафинирование монокристаллических жаропрочных никелевых сплавов от примесей серы и кремния и нейтрализация вредного влияния фосфора // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2017. № 4 (52). Ст. 04. С. 33–41. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-4-4-4.
11. Каблов Д. Е., Сидоров В. В., Мин П. Г., Пучков Ю. А. Влияние поверхностно-активных примесей и добавки лантана на структуру и свойства монокристаллического жаропрочного никелевого сплава ЖС36 // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2017. № 4 (52). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-4-2-2.
12. Mercelis P., Kruth J.-P. Residual stresses in selective laser sintering and selective laser melting // *Rapid Prototyp. J.* – 2006. – Т. 12, N 5. – С. 254–265.
13. Song B. и др. Microstructure and tensile properties of iron parts fabricated by selective laser melting // *Opt. Laser Technol. Elsevier*. – 2014. – Т. 56. – С. 451–460.
14. Amato K.N. и др. Microstructures and mechanical behavior of Inconel 718 fabricated by selective laser melting // *Acta Mater.* – 2012. – Т. 60, N 5. – С. 2229–2239.
15. Сидоров В. В., Мин П. Г., Бурцев В. Т., Каблов Д. Е., Вадеев В. Е. Компьютерное моделирование и экспериментальное исследование реакций рафинирования в вакууме сложнолегированных ренийсодержащих никелевых расплавов от примесей серы и кремния // *Вестник РФФИ*. – 2015. – № 1 (85). – С. 32–36.
16. Мин П. Г., Вадеев В. Е., Калицев В. А., Крамер В. В. Технология получения деформируемого сплава ВЖ175 для дисков ГТД из кондиционных отходов // *Металлург*. – 2015. – № 9. – С. 76–80.
17. Каблов Е. Н. Настоящее и будущее аддитивных технологий // *Металлы Евразии*. – 2017. – № 1. – С. 2–6.
18. Каблов Е. Н. Аддитивные технологии – доминанта национальной технологической инициативы // *Интеллект и технологии*. – 2015. – № 2 (11). – С. 52–55.
19. Быценко О. А., Чабина Е. Б., Филонова Е. В., Рогалев А. М. Взаимосвязь дефектов структуры жаропрочного никелевого сплава, полученного методом селективного лазерного сплавления, стратегии и параметров сканирования // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана*. – 2016. – № 3. – С. 121–132.
20. Назаркин Р. М., Петрушин Н. В., Рогалев А. М. Структурно-фазовые характеристики сплава ЖС32-ВИ, полученного методами направленной кристаллизации, гранульной металлургии и селективного лазерного сплавления // *Труды ВИАМ*. – 2017. – № 2 (50). – С. 2.
21. Оспенникова О. Г., Наприенко С. А., Медведев П. Н., Крупнина О. А., Рогалев А. М. Особенности структуры сплава Ti–6Al–4V, полученного методом селективного лазерного сплавления // *Труды ВИАМ*. – 2019. – № 10 (82). – С. 2.
22. Biedunkiewicz A., Biedunkiewicz W., Figiel P., Grzesiak D. Preparation of stainless steel–TiC composite by selective laser melting // *Chem. Listy*. – 2011. – N 105. – P. 773–774.
23. Ghosh S.K., Saha P., Kishore S. Influence of size and volume fraction of SiC particulates on properties of ex situ reinforced Al–4.5Cu–3Mg metal matrix composite prepared by direct metal laser sintering process // *Mater. Sci. Eng. A*. – 2010. – V. 527, N 18–19. – P. 4694–4701.
24. Yasa E., Deckers J., Kruth J. The investigation of the influence of laser re-melting on density, surface quality and microstructure of selective laser melting parts // *Rapid Prototyp. J.* – 2011. – V. 17, N 5. – С. 312–327.
25. 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.

26. Механик Е. А., Мин П. Г., Гундобин Н. В., Растегаева Г. Ю. Разработка методики определения массовой доли серы в жаропрочных никелевых сплавах и сталях в диапазоне концентраций от 0,0001 до 0,0009% // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. № 9. Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-12-12.

27. Алексеев А. В., Якимович П. В., Мин П. Г. Определение примесей в сплаве на основе Nb методом ИСП-МС. Часть I // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. № 6. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-6-4-4.

28. Алексеев А. В., Якимович П. В., Мин П. Г. Определение примесей в сплаве на основе ниобия методом ИСП-МС. Часть II // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. № 7. Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.15877/2307-6046-2015-0-7-3-3.

29. Мин П. Г., Вадеев В. Е., Рогалев А. М., Князев А. Е. Исследование химического состава, структуры и механических свойств сплава ЭП648 на различных этапах аддитивного производства // Материаловедение. – 2018. – № 12. – С. 17–22.

30. Каблов Д. Е., Сидоров В. В., Мин П. Г. Закономерности поведения азота при получении монокристаллов жаропрочного никелевого сплава ЖС30-ВИ и его влияние на эксплуатационные свойства // МитОМ. – 2014. – № 1. – С. 8–12.

31. Каблов Д. Е., Сидоров В. В., Мин П. Г. Влияние примеси азота на структуру монокристаллов жаропрочного никелевого сплава ЖС30-ВИ и разработка эффективных способов его рафинирования // Авиационные материалы и технологии. 2012. №2. С.32–36.

32. Каблов Д. Е., Чабина Е. Б., Сидоров В. В., Мин П. Г. Исследование влияния азота на структуру и свойства монокристаллов из литейного жаропрочного сплава ЖС30-ВИ // МитОМ. – 2013. – № 8. – С. 3–7.

УДК 669.715:621.746.552

ВЛИЯНИЕ СОВМЕЩЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ С ОДНОВРЕМЕННОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ МЕТАЛЛА В ТВЕРДОЖИДКОМ СОСТОЯНИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА В95

А. М. СЕРГЕЕВА^{1,2}, канд. физ.-мат. наук, Н. С. ЛОВИЗИН¹, канд. физ.-мат. наук,
А. А. СОСНИН¹, канд. техн. наук

¹ФГБУН «Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН «Институт машиноведения и металлургии», 681005, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре, ул. Металлургов, 1.
E-mail: mail@imim.ru.

²ООО «Институт научно-технических инноваций» (участник проекта Сколково), 681007, Комсомольск-на-Амуре, ул. Калинина, 24, кв. 20

Поступила в редакцию 30.12.2019

После доработки 18.02.2020

Принята к публикации 20.02.2020

Известно, что при затвердевании расплавов под воздействием внешних факторов в заготовках формируется мелкозернистая структура, что способствует улучшению механических характеристик готовых металлоизделий. Получение длинномерных профилей с высоким уровнем механических свойств за короткий производственный цикл – сложная междисциплинарная задача, имеющая важное прикладное значение. В работе представлены результаты исследований свойств изделий из алюминиевого сплава В95, полученных способом непрерывного вертикального литья, совмещенного с деформацией в твердожидком состоянии в процессе затвердевания. Приведена схема устройства, реализующего такой процесс совмещения, рассмотрена его работа. Дано описание способа получения плоских заготовок, подготовки образцов для исследования механических характеристик и микроструктуры заготовок.

Как показали исследования, полученные металлоизделия имеют мелкозернистую структуру с плотным направленным расположением дислокаций. Границы зерен являются широкими, неровными, состоящими из сеток и дислокационных сплетений. Тонкая направленная дислокационная структура формируется в кристаллизаторе устройства в процессе затвердевания расплава и обеспечивает повышение механических характеристик металлоизделий без дополнительных процедур

обработки. В готовых металлоизделиях отсутствуют дефекты усадочного происхождения. Показана возможность за короткий производственный цикл со сниженными силовыми затратами получения длинномерных металлоизделий с высокими механическими характеристиками.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, микроструктура, непрерывное литье, механические свойства, кристаллизация, деформирование металла в твердожидком состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бровман М. Я. Совмещенные процессы непрерывного литья и прокатки. – Саарбрюккен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 626 с.
2. Мамаджанов Х. А., Сергеева А. М., Мансуров С. Ю., Мансуров Ю. Н. Особенности технологии непрерывного литья алюминиевых сплавов и оценки ее эффективности // Цветные металлы. – 2018. – № 12. – С. 6–13.
3. Сергеева А. М., Ловизин Н. С., Соснин А. А. Структура и механические свойства плоских заготовок из сплава АД1, полученных в условиях непрерывного литья, совмещенного с деформацией в твердожидком состоянии // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 1 (89). – С. 84–91.
4. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки: ГОСТ 4784–97. – Введ. 2000-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 10 с.
5. Сергеева А. М., Ловизин Н. С., Соснин А. А. Технология совмещения вертикального непрерывного литья алюминиевых сплавов с одновременной их деформацией // Металлург. – 2018. – № 3. – С. 72–76.
6. Сергеева А. М., Ловизин Н. С., Соснин А. А. О совмещенной технологии непрерывного литья алюминиевых сплавов с одновременной деформацией металла // Авиационные материалы и технологии. – 2018. – № 2. – С. 9–16.
7. Габидуллин Р. М., Ливанов В. А., Шипилов В. С. Непрерывное литье алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1977. – 168 с.
8. ГОСТ 21073.0–75. Металлы цветные. Определение величины зерна. Общие требования. – Введ. 1976-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 9 с.
9. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – Введ. 1986-01-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 24 с.
10. ГОСТ 9012–59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. – Введ. 1960-01-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 40 с.
11. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Введ. 1975-01-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 9 с.
12. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Справочник. Изд. 2-е / З. Н. Арчакова, Г. А. Балахонцев, И. Г. Басова и др. – М.: Металлургия, 1984. – 408 с.
13. Белецкий В. М., Кривов Г. А. Алюминиевые сплавы. Состав, свойства, технология, применение. Справочник / Под общ. ред. акад. И. Н. Фридляндера. – Киев: КОМИНТЕХ, 2005. – 365 с.
14. Коростелев В. Ф., Хромова Л. П. Влияние давления, накладываемого на жидкий металл, на формирование нанокристаллической структуры металлов // Нано- и микросистемная техника. – 2015. – № 3. – С. 58–61.
15. Семёнов А. Б., Семёнов Б. И. Тенденции развития и научно-технические основы специальных способов литья // Металлургия машиностроения. – 2015. – № 6. – С. 41–47.

УДК 536.72+536.73

ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ: ВЗАИМОСВЯЗЬ, «НЕСОГЛАСОВАННОСТЬ», СКРЫТЫЕ ЭФФЕКТЫ

А. М. САВЧЕНКО, канд. техн. наук, Ю. В. КОНОВАЛОВ, канд. техн. наук,
А. В. ЛАУШКИН, канд. техн. наук

Поступила в редакцию 10.02.2020

После доработки 4.03.2020

Принята к публикации 11.03.2020

Рассмотрена взаимосвязь первого и второго законов термодинамики на основе их энергетической сущности. Отмечено, что процессы, описываемые вторым законом термодинамики, зачастую протекают скрыто внутри системы, что затрудняет их обнаружение. Тем не менее, даже при идеальном смешении происходит увеличение внутренней энергии системы, численно равное увеличению свободной энергии. Наибольший вклад в изменение величины свободной энергии вносит энтропия смешения, имеющая энергетический смысл. Энтропия смешения может совершать работу, что подтверждается в частности осмотическими процессами.

Ключевые слова: термодинамика, свободная энергия, энтропия, энтропия смешения, конфигурационная энтропия, первый и второй законы термодинамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cahn R. W., Haasen P. Physical Metallurgy. 4th ed. – Elsevier, 1996. – 2740 p.
2. Савченко А. М., Коновалов Ю. В. Сопоставление традиционного и классического подходов ко второму закону термодинамики и фазовым равновесиям // Вопросы материаловедения. – 2019. – № 3 (99). – С. 29–37.
3. Gibbs J. W. On the Equilibrium of Heterogeneous Substances. Collected Works of Gibbs J.W. V. 1. – Yale Univ. Press, 1948. – P. 55.
4. Swalin R. A. Thermodynamics of Solids. – New York, London: John Wiley & Sons, 1967. – P. 156–160.
5. Hume-Rothery W., Haworth C. W., Smallman R. E. The structure of metals and alloys. 5th ed. – London: Institute of Metals, 1969. – 407 p.
6. Membrane-Based Salinity Gradient Processes for Water Treatment and Power Generation. Ed.: Sarper Sarp, Nidal Hilal. – Elsevier, 2018. – 366 p.
7. Савченко А. М. Энергетическая природа конфигурационной энтропии. Генерация энтропийных и антиэнтропийных потоков. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 51 с.
8. Савченко А. М. «Скрытая термодинамика» – трезвый взгляд на известные вещи. Твердые и жидкие растворы // Атомная стратегия. – 2015. – Вып. 109. – С. 17–23.
9. Савченко А. М. Взаимосвязь конфигурационной энтропии, материи и Физического Вакуума // Атомная стратегия. – 2013. – Вып. 78. – С. 12–17.
10. Prigogine I., Defay R. Chemical Thermodynamics. – London, New York, Toronto: Longmans Green and Co, 1954. – 576 p.
11. Cottrell A. H. Theoretical Structural Metallurgy – London: Arnold, 1948. – 256 p.
12. Козырев Н. А. Избранные труды. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1991. – С. 395–400.
13. Savchenko A., Uferov O., Maranchak S. Physical Nature of Configurational (Mixing) Entropy as Applied to Open System // Proceedings of the Science Conference “Plutonium Futures 2012”, University of Cambridge, UK, 15–10 July 2012.

УДК 622.24.051.64

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ОСНАЩЕННОГО АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЖУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

М. В. ВОРОБЬЕВА, канд. техн. наук, С. А. ПЕРФИЛОВ, канд. техн. наук,

А. А. ПОЗДНЯКОВ, канд. техн. наук, Р. Л. ЛОМАКИН, В. Д. БЛАНК, д-р физ.-мат. наук

Поступила в редакцию 26.11.2019

После доработки 20.12.2019

Принята к публикации 24.12.2019

Проведено технико-экономическое обоснование и разработаны научно-технические принципы создания технологии производства бурового инструмента, оснащенного алмазно-твердосплавными режущими элементами российского производства. Представлены результаты разработанных ФГБНУ «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» (ФГБНУ ТИСНУМ) технологических процессов производства алмазно-твердосплавных пластин (АТП), предназначенных для работы в различных условиях бурения. Показана возможность получения АТП с дифференцированными физико-химическими и эксплуатационными характеристиками, обусловливаемыми физико-механическими свойствами горных пород, особенностями конструкции скважин и другими условиями бурения. Проведен комплекс исследований физико-механических свойств АТП, их связи со структурно-технологическими факторами и эксплуатационными характеристиками долот. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний долот, оснащенных режущими элементами производства ФГБНУ ТИСНУМ, на объектах ПАО «Газпромнефть». Показано, что организация промышленного производства АТП и буровых долот премиум-класса позволит обеспечить потребности российской нефтегазодобывающей отрасли, полностью ликвидировать импортозависимость, а к 2025 г. занять 25–30% мирового рынка бурового инструмента и оборудования.

Ключевые слова: алмазно-твердосплавные пластины, буровой инструмент, PDC долота, износостойкость

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев Л. В., Закиров А. Я. Производство и испытание первых российских поликристаллических алмазных режущих элементов для буровых долот // ПРОнефть. – 2017. – N 4 (6). – С.32–35.
2. Prokhorov V., Pozdnyakov A., Kravchuk K., Morokov E. Development and research of characteristics of two-layer diamond plates for drilling tools // Machines Technologies Materials. – 2019. Year XIII, Is. 7. – P. 294–297.
3. Третьяк А. А. Разработка современных конструкций коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами, и технологии их использования // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. –Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2012.
4. Qian J., McMurray C. E., Mukhopadhyay D. K. Polycrystalline diamond cutters sintered with magnesium carbonate in cubic anvil press // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2012. – V. 31. – P. 71–75.
5. Чулкова В. В. Разработка методических и технологических решений по выбору долот PDC с усиленным антивибрационным вооружением // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2017.
6. Бессон А., Берр Б., Диллар С., Дрейк Э., Айви Б., Айви К., Смит Р., Уотсон Г. Новый взгляд на режущие элементы буровых долот // Нефтегазовое обозрение. – Весна 2002. – С. 4–31.
7. Kanyanta V., Ozbayraktar S., Maweja K. Effect of manufacturing parameters on polycrystalline diamond compact cutting tool stress-state // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. –2014. – N 45. – P. 147–152.
8. Paggett J. W., Drake E. F., Krawitz A. D., Winholtz R. A., Griffin N. D. Residual stress and stress gradients in polycrystalline diamond compacts // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2002. – N 20. – P. 187–194.
9. Ненашев М. В., Ибатуллин И. Д., Журавлев А. Н., Косулин С. И. Технические средства и методики входного контроля качества PDC зубцов алмазных буровых долот // Изв. Самарского научн. центра РАН. Механика и машиностроение. – 2011. – Т. 13, № 4(3). – С. 835–838.
10. PDC bits. URL: www.varelintl.com.
11. Боровский Г. В., Зайцев И. В., Негинский Е. А., Отт О. С., Хачикян Е. А. Исследование процесса бурения твердых горных пород инструментом с алмазно-твердосплавными пластинами // Сб. матер. междунар. конф. молодых ученых, работающих в области углеродных материалов (30 мая – 1 июня 2017 г.), М., Троицк: Тривант, 2017. – С. 27–29.

12. Абатуров В. Г. Физико-механические свойства горных пород и породоразрушающий буровой инструмент. – Тюмень: Нефтегазовый университет, 2007.
13. Марамзин А. В. Технические средства для алмазного бурения. – М.: Недра, 1982.
14. Мясников Я. В., Ионенко А. В., Гаджиев С. Г., Липатников А. А., Леонов Е. Г. Руководство по оценке износа долот типа PDC в промысловых условиях // Бурение и нефть. – 2014. – № 3. – С. 14–18.
15. Новости. 31 января 2017. Технологии // Интернет ресурс: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-uspeshno-ispytala-pdc-doloto-s-pervymi-rossiyskimi-polikristallicheskim-almaznymi-rezts/>

УДК 539.231:666.246

ОПТИЧЕСКИ РЕГУЛИРУЕМЫЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ ПЛЕНКИ WO₃/rGO ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОПРОПУСКАНИЕМ И ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А. В. ЩЕГОЛЬКОВ, И. Д. ПАРФИМОВИЧ, Ф. Ф. КОМАРОВ, д-р физ.-мат. наук,
А. В. ЩЕГОЛЬКОВ, канд. техн. наук, Е. Н. ТУГОЛУКОВ, д-р техн. наук

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

Поступила в редакцию 13.12.2019

После доработки 16.02.2020

Принята к публикации 19.02.2020

Представлены результаты исследований оптических и электромагнитных свойств электрохромных нанокomпозитных пленок WO₃/rGO, полученных механическим распылением дисперсного раствора на водной основе с частицами WO₃/GO и термообработкой (отжигом) при температуре 300°C в инертной атмосфере аргона в течение 24 ч, в результате чего образовалась электропроводная фаза восстановленного оксида графена rGO и кристаллическая WO₃.

Ключевые слова: триоксид вольфрама, электрохромные пленки, электромагнитное излучение, оптические свойства, оксид графена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Palenzuela J., Vinuales A., Odrizola I., Cabanero G., Grande H. J., Ruiz V. Flexible viologen electrochromic devices with low operational voltages using reduced oxide electrodes // ACS Applied materials & Interfaces. – 2014. – V. 6, No 16. – P. 14562–14567. URL: <https://doi.org/10.1021/am503869b>.
2. Gadgil B., Damlin P., Heinonen M., Kvarnstrom C. A facile one step electrostatically driven electrodeposition of polyviologen-reduced grapheme oxide nanocomposite films for enhanced electrochromic performance // Carbon. – 2015. – V. 89. – P. 53–62. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.03.020>.
3. Ma L., Niu H., Cai J., Zhao P., Wang C., Lian Y., Bai X., Wang W. Optical, electrochemical, photoelectrochemical and electrochromic properties of polyamide/grapheme oxide with various feed ratios of polyamide to graphite oxide // J. Mater. Chem. C. – 2014. – N 2. – P. 2272–2282. URL: <https://doi.org/10.1039/C3TC32078B>.
4. Наноструктурные оксидные материалы в современной микро-, нано- и оптоэлектронике // В. А. Мошников, О. А. Александрова и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019.
5. Addington D. M., Schodek D. L. Smart materials and new technologies for the architecture and design professions. – Elsevier Science, Oxford, 2005.
6. Zhao Y., Ikeda T. Smart light-responsive materials. azobenzene-containing polymers and liquid crystals. – A John Wiley & Sons, Inc., 2009.
7. Bamfield P. Chromic phenomena the technological applications of colour chemistry. – Royal society of Chemistry (RSC), 2001.

8. Somani P. R., Radhakrishnan S. Electrochromic materials and devices: present and future // *Materials Chemistry and Physics*. – 2002. – V. 77. – P. 117–133. URL: [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(01\)00575-2](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(01)00575-2).
9. Lampert C. M. Large-area smart glass and integrated photovoltaics // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. – 2003. – V. 76. – P. 489–499. DOI: 10.1016/S0927-0248(02)00259-3.
10. Granqvist C. G., Lansaker P. C., Mlyuka N. R., Niklasson G. A., Avendano E. Progress in chromogenics: New results for electrochromic and thermochromic materials and devices // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 2009. – N 93. – P. 2032–2039. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.02.026>.
11. Kanagaraj M., Velayutham D., Suryanarayanan V., Kathiresan M., Ho K.-C. Viologen based Electrochromic Materials and Devices // *Journal of Materials Chemistry C*. – 2019. – N 7 (16). – P. 4622–4637. DOI: 10.1039/C9TC00416E.
12. Чудов К. А., Левченко К. С., Порошин Н. О., Щегольков А. В., Шмелин П. С., Гребенников Е. П. Синтез и свойства новых электрохромных производных 3-арил-4,5-бис (пиридин-4-ил) изоксазола // *Известия Академии наук. Серия химическая*. – 2019. – № 8. – С. 1565–1569.
13. Rowley N. M., Mortimer R. J. New electrochromic materials // *Science Progress*. – 2002. – N 85(3). – P. 243–262.
14. Li Y., McMaster W. A. Wei H., Chen D., Caruso R. A. Enhanced electrochromic properties of WO_3 nanotree-like structures synthesized via a two-step solvothermal process showing promise for electrochromic window application // *ACS Applied Nano Materials*. – 2018. – V. 1, N 6. – P. 2552–2558. DOI: 10.1021/acsanm.8b00190.
15. Buch V. R., Chawla A. K., Rawal S. K. Review on electrochromic property for WO_3 thin films using different deposition techniques // *Materials today: Proceedings*. – 2016. – V. 3, N 6. – P. 1429–1437.
16. Zhang J.-G., Benson D. K., Tracy C. E., Deb S. K., Czanderna A. W., Bechinger C. Chromic mechanism in amorphous WO_3 films // *Journal of The Electrochemical Society*. – 1996. – N 144 (6). – P. 2022–2025.
17. Rauh R. D., Wang F., Reynolds J. R., Mecker D. L. High coloration efficiency electrochromics and their application to multi-color devices // *Electrochimica Acta*. – 2001. – V. 46. – P. 2023–2029. DOI: 10.1016/S0013-4686(01)00419-4.
18. Monk P. M. S., Mortimer R. J., Rosseinsky D. R. *Electrochromism and electrochromic devices*. – Cambridge university press, 2007. URL: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511550959>.
19. Svensson J. S. E. M., Granqvist C. G. Electrochromic coatings for «Smart Windows» // *Solar Energy materials*. – 1985. – N 12. – P. 391–402. URL: [https://doi.org/10.1016/0165-1633\(85\)90033-4](https://doi.org/10.1016/0165-1633(85)90033-4)
20. Baetens R., Jelle B.P., Gustavsen A. Properties requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: state-of-the-art // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 2010. – N 94 (2). – P. 87–105. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.08.021>.
21. Komarov F. F., Tkachev A. G., Milchanin O. V., Parfimovich I. P., Grinchenko M. V., Parkhomenko I. N., Bychenok D. S. A composite based on epoxy polymer and carbon nanotubes: structure optical properties and interaction with microwave radiation // *Advanced Materials & Technologies*. – 2017. – N 2. – P. 19–25. DOI: 10.17277/amt.2017.02.
22. Novoselov K. S. Nobel lecture: graphene: materials in the flatland // *Reviews of modern physics*. – 2011. – V. 83. – P. 837–849. DOI:10.1103/RevModPhys.83.837.
23. Интернет ресурс <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/550086?lang=en®ion=RU>
24. Louloudakis D., Thongpan W., Mouratis K., Koudoumas E., Kiriakidis G., Singai P. Novel spark method for deposition of metal oxide thin films: deposition of hexagonal tungsten oxide // *Physica Status Solidi A*. – 2019. – V. 216, N 7. – P. 513–519.

25. Щегольков А. В., Щегольков А. В. Получение нанокompозитных электрохромных пленок WO₃/rGO методом спрей-пиролиза на стеклянных подложках // Вектор науки ТГУ. – 2019. – № 3(49). – С. 69–76.

УДК 621.793.7:621.762.22

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРОШКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Е. Ю. ГЕРАЩЕНКОВА, А. Ф. ВАСИЛЬЕВ, 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 23.12.2019

После доработки 20.02.2020

Принята к публикации 20.02.2020

Приведены результаты разработки технологии получения плакированного порошка и покрытий на его основе. На примере композиции сталь Гадфильда – порошок алюминия показана возможность получения плакированного порошка с использованием высокоскоростного механосинтеза в дезинтеграторных установках.

Ключевые слова: плакированный порошок, сталь Гадфильда, механосинтез, дезинтегратор, сверхзвуковое холодное газодинамическое напыление.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геращенко Д. А. Разработка технологического процесса нанесения покрытий методом «холодного» газодинамического напыления на основе армированных порошков системы Al–Sn + Al₂O₃ // Автореф. дис. ... канд. техн. наук, СПб., 2015. – 24 с.

2. Патент РФ № 2434713С2. Способ получения композитного порошка системы Al–Zn–Sn – Al₂O₃ / Геращенко Д. А., Сомкова Е. А., Быстров Р. Ю., Фармаковский Б. В., Васильев А. Ф., Алмазов В. В., Коберниченко А. Б. – Оpubл. 16.11.2009.

3. Патент РФ № 2434962. Композиционный конструкционный материал / Агеев С. В., Аладьин А. В., Москвичев Ю. П., Панин В. И. – Оpubл. 27.11.2011

4. Патент РФ № 2417136. Способ получения агломерированных дисперсных частиц системы «металл–неметалл» износостойкого класса / Коркина М. А., Васильев А. Ф., Самоделкин Е. А., Маренников Н. В., Фармаковский Б. В. – Оpubл. 27.04.2011.

5. Бобкова Т. И., Фармаковский Б. В., Геращенко Е. Ю., Самоделкин Е. А. Композиционные плакированные порошки для нанесения защитных покрытий // Вопросы материаловедения. – 2018. – № 1(97). – С. 79–84.

6. Геращенко Д. А., Орыщенко А. С. Алюмоматричные функциональные покрытия с высокой микротвердостью, полученные из композиционных порошков системы Al–Sn + Al₂O₃ методом холодного газодинамического напыления // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 3(83). – С. 100–107.

7. Грачев В. И., Марголин В. И., Жабров В. А., Тупик В. А. Основы синтеза наноразмерных частиц и пленок. – Ижевск: Удмуртия, 2014. – С. 480.

8. Перспективные направления развития науки в Петербурге / Отв. ред. Ж. И. Алферов и др. – СПб.: Изд-во И. П. Пермяков С. А., 2015. – С. 137–163.

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

НАНОКОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ С ВЫСОКОЙ МИКРОТВЕРДОСТЬЮ НА ОСНОВЕ АГЛОМЕРИРОВАННОЙ ПОРОШКОВОЙ СИСТЕМЫ СПЛАВ Х20Н80–WC

Т. И. БОБКОВА, канд. техн. наук, А. Ф. ВАСИЛЬЕВ, 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 13.01.2020

После доработки 25.02.2020

Принята к публикации 27.02.2020

Исследованы особенности получения наноструктурированных композиционных покрытий с высокой микротвердостью при использовании агломерированных порошков системы сплав Х20Н80 – карбид вольфрама, изготовленных с помощью высокоскоростного механосинтеза. Изучены свойства полученных функциональных покрытий, нанесенных двумя способами напыления: сверхзвуковым холодным газодинамическим и микроплазменным.

Ключевые слова: высокоскоростной механосинтез, универсальная ударно-дезинтеграторная обработка, сверхзвуковое холодное газодинамическое напыление, микроплазменное напыление, микротвердость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, 2005. – 324 с.
2. Клинков С. В., Косарев В. Ф. Моделирование адгезионного взаимодействия частиц с преградой при газодинамическом напылении // Физическая механика. – 2002. – Т. 5, № 3. – С. 27–35.
3. Перспективные направления развития науки в Петербурге / Отв. ред. Ж. И. Алферов и др. – СПб.: Изд-во И. П. Пермяков С. А., 2015. – 543 с.
4. Солнцев Ю. П., Пиротайнен В. Ю., Воложанина С. А. Материаловедение специальных отраслей машиностроения: Учебное пособие. – СПб.: Химиздат, 2007. – С 250–335.
5. Физико-химические процессы синтеза наноразмерных объектов / Жабрив В. А. и др. – СПб.: Элмор, 2012. – 327 с.
6. Маренников Н. В., Геращенко Д. А., Бурканова Е. Ю., Самоделкин Е. А. Разработка технологических подходов получения наноструктурированных композиционных порошков методом сверхзвукового механосинтеза // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 2 (62). – С. 64–67.
7. Геращенко Д. А. Разработка технологического процесса нанесения покрытий методом холодного газодинамического напыления на основе армированных порошков на основе армированных порошков системы Al–Zn + Al₂O₃. // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2015.
8. Бобкова Т. И. Разработка прецизионных сплавов и технологий формирования износостойких коррозионно-стойких градиентных покрытий – основа создания изделий, работающих в экстремальных условиях // Изобретательство. – 2016. – № 7. – С. 11–15.
9. Бобкова Т. И. Разработка материалов и технологии получения износостойких градиентных покрытий на базе наноструктурированных композиционных порошков // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2017.
10. Патент РФ № 2354749. Способ получения наноструктурированных функционально-градиентных износостойких покрытий / Геращенко Д. А., Горынин И. В., Фармаковский Б. В., Васильев А. Ф. Оpubл. 10.05.2009.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЬ – ВОЛЬФРАМ ИЗ ЦИТРАТНОГО
ЭЛЕКТРОЛИТА**

А. В. КРАСИКОВ¹, канд. хим. наук, А. Д. БЫКОВА¹, М. В. МЕРКУЛОВА²,
М. А. МАРКОВ¹, канд. техн. наук

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

²ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт» (Технологи-
ческий университет), 190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 28

Поступила в редакцию 22.01.2020

После доработки 6.02.2020

Принята к публикации 12.02.2020

Определены условия получения износостойкого покрытия Ni–40%W методом электрохимического осаждения и изучена стабильность работы электролита в этих условиях. Исследовано влияние температуры и плотности тока на осаждение сплава Ni–W из цитратного электролита и установлен оптимальный режим его нанесения. Предельная продолжительность эксплуатации электролита установлена по зависимости выхода по току для сплава Ni–W от количества пропущенного электричества. Обоснована необходимость применения мембранных электролизеров при осаждении никель-вольфрамовых покрытий.

Ключевые слова: износостойкое покрытие Ni–W, метод электрохимического осаждения, цитратный электролит, технологичность электролита, выход по току.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васько А. Т. Электрохимия молибдена и вольфрама. Киев: Наукова думка, 1977. – 172 с.
2. Степанова Л. И., Бодрых Т. И., Пуровская О. Г., Свиридова Т. В. Функциональные наноструктурированные пленочные покрытия, содержащие W, Mo и/или их оксиды // Нанотехника. – 2005. – № 2. – С. 54–60.
3. Красиков А. В., Первухина М. С. Технологические особенности нанесения покрытий из наноструктурированных сплавов никель-вольфрам методом электрохимического осаждения. // Вопросы материаловедения. – 2011. – № 3(67). – С. 117–124.
4. Красиков А. В. Исследование технологических параметров осаждения сплава Ni–W из пиррофосфатно-аммонийного электролита // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 1(69). – С. 68–73.
5. Фурмон М. С., Красиков А. В. Состав, микротвердость и структура покрытий из сплавов никель-вольфрам, полученных методом электрохимического осаждения // Вопросы материаловедения. – 2012. – № 1(69). – С. 74–79.
6. Захарова А. А. Электроосаждение молибдена и вольфрама с металлами подгруппы железа. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1981.
7. Yamasaki T. High-strength Nanocrystalline Ni–W Alloys Produced by Electrodeposition. // Mater. Phys. Mech. – 2000. – V. 1. – P. 127–132.
8. Younes O., Gileadi E. Electrodeposition of High Tungsten Content Ni/W Alloys // Electrochemical and solid state Letters. – 2000. – V. 12, N 3. – P. 543–545.
9. Eliaz N., Sridhar T. M., Gileadi E. Synthesis and Characterisation of Nickel Tungsten Alloys by Electrodeposition // Electrochimica Acta. – 2005. – V. 50. – P. 2893–2904.
10. Головин Д. А. Совершенствование процесса гальванического золочения из слабодиссоциирующих и нейтральных электролитов. Автореф. дис. ... канд. техн. наук., Ивановская государственная химико-технологическая академия, 1994. – 17 с.
11. Berkh O., Burstein L., Shacham-Diamand Y., Gileadi E. The Chemical and Electrochemical Activity of Citrate on Pt Electrodes // Journal of The Electrochemical Society. – 2011. – N 158 (6). – F85–F91.

12. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т. 3, кн. 1 / Под ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 2001. – 872 с.

УДК 539.538:669.28

ИЗНОС МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СУХОМ СКОЛЬЖЕНИИ С ТОКОСЪЕМОМ ПО МОЛИБДЕНУ

М. И. АЛЕУТДИНОВА, канд. техн. наук, В. В. ФАДИН, канд. техн. наук

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

Поступила в редакцию 10.02.2019

После доработки 19.03.2019

Принята к публикации 19.03.2019

Изучена возможность достижения высокой электропроводности сухого скользящего электроконтакта за счет применения контртела из молибдена. Обнаружено, что металлы Cu и W не способны формировать скользящий электроконтакт с высокой износостойкостью при плотности тока выше 100 А/см². Рентгеновским фазовым анализом было показано отсутствие окислов в зоне скольжения при использовании цветных металлов. Это обусловило их сильный износ и низкую электропроводность контакта. Характеристики контактов металлов, содержащих железо, были не намного лучше характеристик контактов цветных металлов из-за слабой адгезии, но в зоне контакта этих образцов наблюдалось образование FeO, что позволяло уменьшить износ. Тем не менее, исследования показали, что высокая электропроводность при скольжении с токосъемом по молибдену недостижима.

Ключевые слова: структура и фазовый состав поверхностного слоя, вязкое пластическое течение слоя переноса, разрушение и износ поверхности скольжения, скользящий электроконтакт, электропроводность скользящего контакта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Braunovich M., Konchits V. V., Myshkin N. K. Electrical contacts. Fundamentals, Applications and Technology. – New York: CRC Press, 2007. – 640 p.
2. Holm R. Electrical Contacts. – New York: Springer, 1979. – 484 p.
3. Берент В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. – М.: Интекст, 2005. – 408 с.
4. Лившиц П. С. Справочник по щеткам электрических машин. – М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 216 с.
5. Bares J. A., Argibay N., Mauntler N., Dudder G. J., Perry S. S., Bourne G. R., Sawyer W. G. High current density copper-on-copper sliding electrical contacts at low sliding velocities // Wear. – 2009. – V. 267. – P. 417–424.
6. Argibay N., Sawyer W. G. Low wear metal sliding electrical contacts at high current density // Wear. – 2012. – V. 274–275. – P. 229–237.
7. Kovalchenko A. M., Blau P. J., Qu J., Danyluk S. Scuffing tendencies of different metals against copper under non-lubricated conditions // Wear. – 2011. – V. 271 – P. 2998–3006.
8. Aleutdinova M. I., Fadin V. V., Rubtsov V. Ye., Aleutdinov K. A. Wear resistance of friction pair of metal composite/copper under electric current // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V. 156. – 012027. DOI:10.1088/1757-899X/156/1/012027.
9. Алеутдинова, М. И., Фадин В. В., Дураков В. Г. Износостойкость спеченных металлических композитов при трении по молибдену в условиях скользящего токосъема // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 2 (62). – С. 96–103.
10. Aleutdinova M. I., Fadin V. V. The role of FeO in creating of multi-level structure of the surface layer of metallic materials in the dry slip zone under electric current of high density // AIP Conference Proceedings. – 2019. – V. 2167. – 020012: <https://doi.org/10.1063/1.5131879>.

11. Алеутдинова М. И., Фадин В. В. Износостойкость углеродистых сталей под воздействием трения и электрического тока высокой плотности // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 3 (83). – С. 47–53.
12. Aniolek K., Kupka M., Barylski A. Sliding wear resistance of oxide layers formed on a titanium surface during thermal oxidation // Wear. – 2016. – V. 356–357. – P. 23–29.
13. Hager Jr C. H., Evans R. D. Friction and wear properties of black oxide surfaces in rolling/sliding contacts // Wear. – 2015. – V. 338–339. – P. 221–231.
14. Wesmann J. A. R., Espallargas N. Elucidating the complex role of surface oxides formed during sliding of self-mated warm sprayed WC–CoCr in different environments // Tribology International. – 2016. – V. 94. – P. 360–372.
15. Алеутдинова М. И., Фадин В. В., Миронов Ю. П. Характер контактного взаимодействия при сухом скольжении вольфрама по стали под воздействием электрического тока высокой плотности // Вопросы материаловедения. – 2019 – № 1 (97). – С. 101–109. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2019-97-1-101-109>.

УДК 621.763–48

ГИБРИДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АВИАЦИИ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ (Обзор)

Е. Д. КОЛПАЧКОВ, А. О. КУРНОСОВ, А. П. ПЕТРОВА, д-р техн. наук,
А. Е. ПАСКУТИН, канд. техн. наук

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

Поступила в редакцию 13.12.2019

После доработки 27.12.2019

Принята к публикации 10.01.2020

Рассмотрены основные критерии классификации гибридных полимерных композиционных материалов на основе волокнистых наполнителей. Проанализированы их отличительные особенности, приведены примеры создания гибридных ПКМ, рассмотрен опыт ФГУП «ВИАМ» в создании гибридных ПКМ.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, изделия авиационного назначения, гибридные композиционные материалы, гетеро- и поливолокнистые материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 5. – С. 7–17.
2. Каблов Е. Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. – 2012. – № 3. – С. 10–15.
3. Каблов Е. Н., Семенова Л. В., Петрова Г. Н., Ларионов С. А., Перфилова Д. Н. Полимерные композиционные материалы на термопластичной матрице // Известия высших учебных заведений. Сер. Химия и химическая технология. – 2016. – Т. 59, № 10. – С. 61–71.
4. Ибатуллина А. Р. Обзор производителей и сравнение свойств сверхпрочных высокомолекулярных волокон // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 19. – С. 35–42.
5. Железина Г. Ф., Бова В. Г., Войнов С. И., Кан А. Ч. Перспективы использования гибридных тканей на основе углеродных и арамидных волокон в качестве армирующего наполнителя полимерных композиционных материалов // Вопросы материаловедения. – 2019. – № 2(98). – С. 86–95.
6. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы: учебное пособие. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 822 с. // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS. URL: <http://www.iprbookshop.ru/13214.html> (дата обращения: 14.10.2019).
7. Кудинов В. В., Корнеева Н. В., Крылов И. К. Гибридные полимерные композиционные материалы // Физика и химия обработки материалов. – 2008. – № 2. – С. 32–37.

8. Паршина Л. В. Исследование остаточных напряжений в гибридных полимерных композиционных материалах // Вопросы материаловедения. – 2001. – № 1 (25). – С. 24–31.
9. Агеева Т. Г., Баринев Д. Я., Просвириков В. М. Определение теплофизических и оптических характеристик гибридных композиционных материалов для крыла суборбитального многоразового космического аппарата туристического класса // XLI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С. П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства, 2017. – С. 44–45.
10. Андрюшкин А. Ю., Иванов В. К. Композиционные материалы в производстве летательных аппаратов: Учебное пособие. – СПб.: Балтийский гос. техн. ун-т «Военмех» (БГТУ), 2010. – 144 с.
11. Мелешко А. И., Половников С. П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. – М. Сайнс-пресс, 2007. – 192 с.
12. Курносов А. О., Вавилова М. И., Мельников Д. А. Технологии производства стеклянных наполнителей и исследование влияния аппретирующего вещества на физико-механические характеристики стеклопластиков // Авиационные материалы и технологии. – 2018. – № 1 (50). – С. 64–69. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-64-70.
13. Гуняев Г. М. Поликомпонентные высокомодульные композиты // Механика полимеров. – 1977. – № 5. – С. 819–826.
14. Скудра А. М., Булавс Ф. Я. Структурная теория армированных пластиков. – Рига: Зинатне, 1978. – 192 с.
15. Курносов А. О., Мельников Д. А. Характеристики стеклопластиков на основе высокодеформативных расплавных связующих в условиях воздействия эксплуатационных факторов // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2015. – № 11. – С. – 14–17.
16. Железина Г. Ф., Гуляев И. Н., Соловьева Н. А. Арамидные органопластики нового поколения для авиационных конструкций // Авиационные материалы и технологии. – 2017. – № S. – С. 368–374. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-368-378.
17. Михайлин Ю. А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. – СПб.: Научные основы и технологии, 2013. – 720 с.
18. Pinzelli R. La fibre aramide et ses applications dans les composites hybrids // Matériaux et techniques. – 1984. – V. 72. – № 1–2. – P. 43–48.
19. Журковский М. Е., Сакошев З. Г., Блазнов А. Н. Исследование механических свойств намоточных гибридных полимерных композиционных материалов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2018. – № 3 (23). – С. 39–43.
20. Кириллов В. Н., Вапиров Ю. М., Дрозд Е. А. Исследование атмосферной стойкости полимерных композиционных материалов в условиях атмосферы теплого влажного климата // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 4 (25). – С. 31–38.
21. Колпачков Е. Д., Петрова А. П., Курносов А. О., Соколов И. И. Методы формования изделий авиационного назначения из ПКМ (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2019. – № 11. – Ст. 3. URL: <https://viam-works.ru> (дата обращения 25.11.19). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-11-22-36.
22. Попов Ю. О., Колокольцева Т. В., Беспалова Л. С. Стеклопластик ВПС-31 и гибридный композиционный материал ВКГ-5 из однонаправленных препрегов на основе расплавного связующего и жгутовых угле-, стеклонаполнителей // Авиационные материалы и технологии. – 2006. – № 1. – С. 10–19.
23. Лукина Н. Ф., Дементьева Л. А., Аниховская Л. И. Клеевые препреги для слоистых алюмо-стеклопластиков класса СИАЛ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. – 2014. – № 1. – Ст. 5. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 19.11.2019). DOI: 10/18577/2307-6046-2014-0-1-5-5.
24. Грабильников А. С., Машинская Г. П., Железина Г. Ф. Межслойная трещиностойкость гибридного композитного материала АЛОР // Механика композитных материалов. – 1994. – № 2 (30). – С. 12–29. URL: <http://www.viam.ru/public> (дата обращения: 19.11.2019).

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СУДОВЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. С. ТРЯСУНОВ¹, канд. техн. наук, И. В. ЛИШЕВИЧ¹, канд. техн. наук,
Г. И. НИКОЛАЕВ¹, д-р хим. наук, Е. Л. ШУЛЬЦЕВА¹, В. Е. БАРУЕВ², А. В. МАХАНЬКО²

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

²АО «ЦКБ МТ «Рубин», 191119, Санкт-Петербург, ул. Марата, 90

Поступила в редакцию 20.01.2020

После доработки 18.02.2020

Принята к публикации 19.02.2020

Рассмотрены подходы и требования к определению характеристик пожаробезопасности полимерных композиционных материалов (ПКМ) в судостроительной отрасли. Представлены экспериментальные данные по определению таких характеристик на примере трехслойного полимерного композиционного материала и стеклопластика несущих слоев. Определена необходимость разработки отечественной нормативной документации по корректным требованиям к проведению испытаний многослойных ПКМ и интерпретации данных.

Ключевые слова: стеклопластик, трехслойный полимерный композиционный материал, пожаробезопасность, горючесть, судостроение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов С. Е. Трехслойные полимерные и металлополимерные композиционные материалы с объемно-армированным средним слоем для безнаборных полотнищ и обшивок корпусов судов // Вопросы материаловедения. – 2000. – № 2. – С. 36–45.

2. Патент РФ № RU 2507071С1. Способ получения трехслойного полимерного композиционного материала (ТСПКМ) / Середохо В. А., Бирюкова М.Н., Веденецкий А.В., Кадилов А.В. Оpubл. 20.02.2014 // Бюлл. № 5.

3. Власов В. А. Экспериментально-статистические модели оценки и прогнозирования показателей токсичности неметаллических судостроительных материалов при горении // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева). – 2009. – Т. LIII, № 4. – С.125–133.

4. Нелюб В. А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2013. – № 5. – С. 21–24.

5. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность корпусов судов из полимерных композиционных материалов: НД № 2-020101-114. – СПб.: ФАУ «Российский морской регистр судоходства», 2019. – 150 с.

6. Правила классификации и постройки морских судов. Часть VI. Противопожарная защита: НД № 2-020101-114. – СПб.: ФАУ «Российский морской регистр судоходства», 2019. – 147 с.

7. ГОСТ 12.1.044–89 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 99 с.

8. Лыткин А. С., Добровенко С. В., Евгенов В. Н. Пожарная опасность неметаллических материалов, применяемых при строительстве и ремонте кораблей, судов и объектов морской (речной) техники // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2018. – № 1. – С. 24–30.

9. Томашевский В. Т., Пашин В. М., Захаров И. Г. Машиностроение: энциклопедия / Расчет и конструирование машин. Кн. 1. Общая методология и теория кораблестроения. Раздел IV. Корабли и суда. Т. IV–20 / Под ред. В.Т. Томашевского, В.П. Пашина. – СПб.: Политехника, 2003. – 744 с.

10. ГОСТ 12.1.044–2018 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения – М.: Стандартинформ, 2018. – 195 с.

11. Новаков И. А., Бахтина Г.Д., Кочнов Б.А., Ветютнева Ю.В., Аникина Т.А., Шокова С.А. Модифицирование полиэфирных связующих стеклопластиков фосфорсодержащими метакрилатами для снижения их горючести // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева). – 2009. – Т. LIII, № 4. – С. 35–40.

12. Анисимов А. В., Трясунов В. С., Шульцева Е. Л., Мудрый Ф. В., Соколов Ю. В. Эпоксидно-эфирное связующее для огнестойких стеклопластиков судостроительного назначения // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 4 (92). – С. 120–128.

13. Звандиле-Манчаары М. Отечественные материалы обеспечат безопасность судов и кораблей // Вести Морского Петербурга. – 2017. – № 1 (44). – С. 18–20.

14. Юдин В. Е., Светличный В. М. Влияние структуры и формы наночастиц наполнителя на физические свойства полиимидных пенопластов // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева). – 2009. – Т. LIII, № 4. – С. 75–85.

15. Современные машиностроительные материалы. Неметаллические материалы: Справ. / А. В. Анисимов, В. Е. Бахарева, И. В. Блышко и др. / Под общей ред. И. В. Горынина и А. С. Орыщенко. – СПб.: НПО «Профессионал», 2014. – 916 с.

УДК 678.067.2:661.666

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ ТКАНЯМИ

Часть 5. Моделирование и экспериментальные исследования деформации структуры углеродной ткани

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

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

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

Поступила в редакцию 13.12.2019

После доработки 17.02.2020

Принята к публикации 19.02.2020

В результате моделирования и экспериментальных исследований были получены значения основных характеристик деформации структуры углеродной ткани. Экспериментальные данные были обработаны по стандартным методикам Государственной системы обеспечения единства измерений. Сравнение прогнозируемых и экспериментальных данных показало достаточно высокое качество разработанной механико-аналитической модели деформации структуры ткани.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Примаченко Б. М., Строкин К. О. Теоретические и экспериментальные исследования композиционных материалов, армированных углеродными тканями. Часть 4. Механико-аналитическая модель деформации структуры углеродной ткани // Вопросы материаловедения. – 2019, № 1 (97). – С. 139–146.

2. Примаченко Б. М., Строкин К. О. Теоретические и экспериментальные исследования композиционных материалов, армированных углеродными тканями. Часть 1. Исследования области контакта

углеродных нитей в тканой структуре // Вопросы материаловедения. – 2015, № 4 (84). – С. 109–116.

3. Примаченко Б. М., Строкин К. О. Теоретические и экспериментальные исследования композиционных материалов, армированных углеродными тканями. Часть 2. Механико-аналитическая модель структуры углеродной ткани // Вопросы материаловедения. – 2017, № 3 (91). – С. 157–166.

4. ГОСТ 29104.4 – 91. Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. Введ. 1993-01-01. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 7 с.

5. ГОСТ Р 8.736–2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений». – М.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.

6. Примаченко Б. М., Строкин К. О. Теоретические и экспериментальные исследования композиционных материалов, армированных углеродными тканями. Часть 3. Моделирование и экспериментальные исследования структуры углеродной ткани // Вопросы материаловедения. – 2018, № 3 (95). – С. 170–176.

7. МИ 2083–90 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей». – М.: Изд. стандартов, 1991. – 10 с.

УДК 669.15–194.2:620.194.2:620.179.147

ОЦЕНКА РАННИХ СТАДИЙ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ КОРРОЗИОННОМ РАСТРЕСКИВАНИИ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ

Е. Н. БУТУСОВА^{1,3}, В. В. МИШАКИН^{2,3}, д-р техн. наук

¹ ООО СК «АЭРОХОД», 603003, Нижний Новгород, Щербакова, 37Е, E-mail: Anelka13@yandex.ru

² Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБУН «Федерального исследовательского центра Института прикладной физики РАН», 603024, Нижний Новгород, ул. Белинского, 85, E-mail: imndt31@mts-nn.ru

³ ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева», 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Поступила в редакцию 16.01.2020

После доработки 2.03.2020

Принята к публикации 3.03.2020

Представлены результаты исследования процессов коррозионного растрескивания под напряжением (КРН) малоуглеродистых низколегированных сталей. Показано, что использование вихретокового метода позволяет проводить оценку тонких изменений структуры, связанных с процессами зарождения трещин КРН. Приведены зависимости времени инкубационного периода КРН от предела макроупругости σ_0 . Отмечено, что при повышении значения σ_0 увеличивается время до образования первой трещины, что может быть объяснено изменением начала микропластического течения в материале. На основании экспериментальных данных получена аналитическая зависимость времени инкубационного периода КРН от предела макроупругости (погрешность расчетов не превысила 10%). Предложен параметр для оценки состояния материала, подверженного КРН, позволяющий по данным вихретоковых измерений зафиксировать прохождение стадий накопления микроповреждений и момент исчерпания значительной части ресурса материала до появления множественных поверхностных макротрещин.

Ключевые слова: малоуглеродистая сталь, коррозионное растрескивание под напряжением, вихретоковый метод, поверхностные трещины, предел макроупругости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзюев К. М., Залитач Н. Р. Проблемы производства работ по капитальному ремонту объектов линейной части ОАО «Газпром» // Материалы V Междунар. конф. «Обслуживание и ремонт газонефтепроводов 2010» – М.: Газпромэкспо, 2011. – С. 102–106.

2. Радионова С. Г., Жулина С. А., Кузнецова Т. А., Печёркин А. С., Кручинина И. А., Гражданкин А. И. Показатели опасности аварий на российских магистральных трубопроводах // *Безопасность труда в промышленности*. – 2015. – № 11. – С. 62–69.
3. Chuhareva N. V., Mironov S. A., Tikhonova T. V. Prediction of accidents and damage to gas pipelines in Far North conditions // *Electronic scientific journal "Oil and Gas Business"*. – 2012. – Is. 3. – P. 99–107.
4. Родионова И. Г., Зайцев А. И., Удод К. А., Бакланова О. Н. Роль технологического и металлургического передела в процессе образования стресс-коррозионных повреждений в трубах из сталей классов прочности Х70–Х80 // *Вести газовой науки и техники*. – 2016. – №3 (27). – С. 37–47.
5. Анализ основных причин аварий, произошедших на магистральных газопроводах / С. В. Савонин, А. В. Москаленко, А. В. Тюндер и др. // *Нефть и газ Сибири*. – 2015. – № 4 (21). – С. 4–6.
6. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.
7. Нохрин А. В., Чувильдеев В. Н. Старение сталей труб магистральных газопроводов // *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. – 2010. – № 5(2). – С. 171–180.
8. Пиккеринг Ф. Б. Физическое металловедение и разработка сталей. – М.: Металлургия, 1982. – 184 с.
9. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.
10. ГОСТ 10006–80. Трубы металлические. Метод испытания на растяжение / Введ. 1980-03-31. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 12 с.
11. ГОСТ 20295–85. Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов / Введ. 1987-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 26 с.
12. ГОСТ 57173–2016. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Испытания на релаксацию напряжений металлов и сплавов при осадке / Введ. 2016-10-20. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2016. – 8 с.
13. СТО Газпром 2-5.1-148–2007. Методы испытаний сталей и сварных соединений на коррозионное растрескивание под напряжением / Введ. 2007-12-28. – ИРЦ Газпром, 2011. – 18 с.
14. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Сопrotивление материалов. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
15. Koch G. H. Tests for Stress-Corrosion Cracking // *Advanced Materials & Processes*. – August, 2001. – С. 36–38.
16. Киричок П. Ф. Коррозионное растрескивание алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей: ключевые особенности и методы испытаний (обзор) / *Труды ВИАМ*. – 2018. – №7 (67). – С. 106–116.
17. Бейгильзимер Я. И., Гетманский А. П. Анализ перехода микропластической деформации в приближении теории протекания // *Проблемы прочности*. – 1988. – № 10. – С. 65–68.
18. Нечаев Ю. С. Физические комплексные проблемы старения, охрупчивания и разрушения металлических материалов водородной энергетики и магистральных газопроводов // *УФН*. – 2008. – Т. 178, № 7. – С. 709–726.

УДК 620.193.25

ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ И НАЛИЧИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Р. К. ВАГАПОВ, канд. хим. наук, Д. Н. ЗАПЕВАЛОВ, канд. техн. наук,

К. А. ИБАТУЛЛИН, канд. хим. наук

ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий Газпром ВНИИГАЗ», 142717, Московская обл., Ленинский р-н, с. п. Развилковское, пос. Развилка, Проектируемый проезд, № 5537, вл. 15, стр. 1. E-mail: R_Vagapov@vniigaz.gazprom.ru

Поступила в редакцию 6.02.2020

Исследованы аспекты развития коррозионных процессов в условиях конденсации влаги в газовой фазе в присутствии диоксида углерода, которые приводят к образованию локальных повреждений стали на объектах добычи газа. Разработана и опробована методика проведения коррозионных испытаний сталей в таких условиях. Проанализированы причины локальной коррозии и степень коррозионного воздействия конденсации влаги на сталь в углекислотной среде. Установлено, что при перепаде температур происходит конденсация большего количества влаги на поверхности стали, что приводит к увеличению скорости как общей, так и локальной коррозии. Повышенная локализации коррозионных процессов в условиях конденсации влаги и присутствия CO_2 становится причиной того, что показатель глубины коррозии стали намного выше, чем общая скорость коррозии. При оценке коррозионной агрессивности сред с конденсацией водной фазы следует учитывать показатели скорости коррозии, связанные с глубиной коррозионных повреждений. По результатам испытаний определено, что степень локализации коррозии в условиях конденсации влаги для образцов, вырезанных из сварного шва, выше, чем для образцов, вырезанных из основного металла.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, конденсация влаги, скорость коррозии, локальная коррозии, диоксид углерода, локальные коррозионные дефекты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саакиян Л. С., Ефремов А. П., Соболева И. А. Защита нефтегазопромыслового оборудования от коррозии. – М: Недра, 1982. – 227 с.
2. Защита трубопроводов от коррозии / Ф. М. Мустафин, М. В. Кузнецов, Г. Г. Васильев и др. – СПб: ООО «Недра», 2005. – 602 с.
3. Запевалов Д. Н., Вагапов Р. К., Ибатуллин К. А. Оценка фактора внутренней коррозии объектов добычи ПАО «Газпром» с повышенным содержанием углекислого газа // Наука и техника в газовой промышленности. – 2018. – № 3 (75). – С. 59–71.
4. Вагапов Р. К., Федотова А. И., Запевалов Д. Н., Стрельникова К. О. Коррозионная агрессивность различных эксплуатационных факторов на углеводородных месторождениях, содержащих диоксид углерода // Вести газовой науки. – 2019. – № 2 (39). – С. 130–137.
5. Слугин П. П., Полянский А. В. Оптимальный метод борьбы с углекислотной коррозией трубопроводов на Бованенковском НГКМ // Наука и техника в газовой промышленности. – 2018. – № 2 (74). – С. 104–109.
6. Моисеев В. В., Исмагилов И. И., Ткешелиадзе Б. Т. Обеспечение безопасной эксплуатации Бованенковского НГКМ в условиях агрессивного воздействия CO_2 // Материалы XI Международной научно-технической конференции «Диагностика оборудования и трубопроводов, подверженных воздействию сероводородсодержащих сред», Оренбург, 15–18 ноября 2016 г. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2017. – 213 с.
7. Корякин А. Ю., Дикамов Д. В., Колинченко И. В., Юсупов А. Д., Запевалов Д. Н., Вагапов Р. К. Опыт подбора ингибиторов коррозии для защиты от углекислотной коррозии объектов второго участка ачимовских отложений Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2018. – № 6. – С. 48–55.
8. Байдин И. И., Харитонов А. Н., Величкин А. В., Ильин А. В., Подольский Е. С. Влияние углекислоты в природном газе газоконденсатной залежи нижнемеловых отложений Юбилейного нефтегазоконденсатного месторождения на эксплуатацию УКПГ-НТС. // Наука и техника в газовой промышленности. – 2018. – № 2. – С. 23–35.
9. Прокопов А. В., Кубанов А. Н., Истомин В. А., Снежко Д. Н., Чепурнов А. Н., Акопян А. К. Специфика промышленной подготовки газов ачимовских залежей // Вести газовой науки. – 2018. – № 1. – С. 226–234.
10. Артеменков В. Ю., Корякин А. Ю., Шустов И. Н., Дикамов Д. В., Шишков Э. О., Юсупов А. Д. Организация коррозионного мониторинга на объектах второго участка ачимовских отложений Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Газовая промышленность. – 2017. – Спецвып. № 2. – С. 74–78.
11. CO_2 Corrosion Control in Oil and Gas Production / Ed. by M. V. Kermani and L. M. Smith // Published for EFC by the Institute of Materials, London, 1997. – 53 p.

12. Crolet J.-L., Bonis M. R. PH Measurements in CO₂ Aqueous Solutions under High Pressure and Temperature // Corrosion. – 1983. – V. 39. – № 2. – P. 39–46.
13. СТО Газпром 9.3-007–2010 «Защита от коррозии. Методика лабораторных испытаний ингибиторов коррозии для оборудования добычи, транспортировки и переработки коррозионно-активного газа».
14. Розенфельд И. Л., Жигалова К. А. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов (теория и практика). – М.: Metallurgy, 1966. – 347 с.
15. ГОСТ Р 9.905–2007. Методы коррозионных испытаний. Общие требования.
16. ГОСТ 9.908–85. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
17. СТО Газпром 9.0-001–2018. Защита от коррозии. Основные положения.
18. ГОСТ 9.502–82. Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов для водных систем. Методы коррозионных испытаний.
19. СТО Газпром 9.3-011–2011. Защита от коррозии. Ингибиторная защита от коррозии промысловых объектов и трубопроводов. Основные требования.
20. Кузнецов Ю. И., Андреев Н. Н., Ибатуллин К. А. О регулировании pH низшими аминами при углекислотной коррозии стали // Защита металлов. – 1999. – № 6 (35). – С. 586–591.
21. Электронный ресурс <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/Humidity/MaximumMoisture Content Air/> (дата обращения 28.01.2020).
22. Asher S. L., Sun W., Ojifinni R., Pacheco J., Li Ch., Nelson J., Ling Sh. Top of the Line Corrosion Prediction in Wet Gas Pipelines // NACE Conference Corrosion, 2012. Paper C-2012-0001303.
23. Gunaltun Y. M., Larrey D. Water-condensation rate critical in predicting, preventing TLC in wet-gas lines // Oil & Gas Journal. – 2000. – July. – V. 98, Is. 28. – P. 58–63.
24. Chen Y. F., Zhang L., Qin H., Xu L., Lu M. X. Effects of Temperature on CO₂ Top of Line Corrosion of Pipeline Steel // NACE Conference Corrosion. – 2011. – Paper № 11327.
25. Singer M. Study of the Localized Nature of Top of the Line Corrosion in sweet environment // Corrosion. – 2017. – V. 73, Is. 8. – P. 201.