

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
"ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ"

№ 3(79), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

**МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ**

- Горынин В. И., Оленин М. И. *Повышение хладостойкости низколегированных термоулучшаемых сталей за счет коагуляции карбидных фаз*..... 5
- Лебедев Е. Л., Храмов А. А. *Влияние термоциклирования стали СтЗкп на энергетические параметры акустической эмиссии*..... 15
- Зотова А. О., Теплухина И. В., Цветков А. С., Зайцева О. Ю. *Опыт изготовления заготовки фланца крышки корпуса реактора ВВЭР-ТОИ из стали марки 15Х2МФА-А мод. А на ПАО «ЭНЕРГОМАШСПЕЦСТАЛЬ» (Украина)*..... 22
- Кудрявцев А. С., Артемьева Д. А., Рейнер П. Я. *Влияние фазового состава на деформационную способность стали марки 07Х12НМФБ при высоких температурах*..... 34

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

- Большакова А. Н., Ефимочкин И. Ю., Мурашева В. В. *Металлографические исследования высокотемпературных композиционных материалов на основе сплавов Mo-Si-B*..... 41
- Кубанцев В. И., Фармаковский Б. В., Рязанов Е. М., Савицкий Д. С., Трачевский М. Л. *Изготовление металлокомпозиционных защитных покрытий способом термодиффузии в переменном электромагнитном поле*..... 47
- Фадин В. В., Алеутдинова М. И. *Об увеличении фактической площади скользящего контакта металлических графитсодержащих композитов под влиянием электрического тока и расплава Pb-Sn в контактном пространстве*..... 60
- Беляев С. Н., Щербак А. Г. *Формирование профилированных функциональных элементов на прецизионных поверхностях узлов гироскопических приборов методом ионного травления*..... 66
- Масайло Д. В., Смелов А. И., Песков Т. В., Фармаковский Б. В. *Разработка тензо- и терморезистивных сплавов для литья микропроводов*..... 73
- Фармаковская А. Я., Бобкова Т. И., Ешметьева Е. Н. *Многослойные износостойкие и коррозионно-стойкие наноструктурированные функционально-градиентные покрытия, полученные методом магнетронного напыления*..... 79
- Ешметьева Е. Н., Быстров Р. Ю., Беляков А. Н., Фармаковский Б. В., Васильев А. Ф., Красиков А. В. *Магнетронное напыление функционально-градиентных покрытий системы Ti-Ru-O для систем очистки воды*..... 90

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

- Орыщенко А. С., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Саргсян А. С., Чурикова А. А. *Создание высокопрочных водостойких диэлектриков и разработка технологии изготовления изделий радиотехнического назначения и судовой электроизоляции*..... 97
- Седлецкий Р. В., Николаев Г. И. *Анализ связи водостойкости образцов и блоков конструкционных полимерных материалов (сферопластиков) с отношением площади их поверхности к объему*..... 109
- Седлецкий Р. В. *Анализ и экспериментальное обоснование реверсивной кинетики водомассопереноса в высоконаполненных полимерных конструкционных композитах (сферо-, стекло-, углепластики)*..... 122
- Хасков М. А. *Сравнительное определение температур стеклования полимерных композиционных материалов методами ДСК, ТМА и ДМА*..... 138
- Охлопкова Т. А., Охлопкова А. А., Спиридонов А. М., Никифоров Л. А. *Структурные изменения сверхвысокомолекулярного полиэтилена под воздействием керамических нанодисперсий*..... 145

**СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

- Найдёнкин Е. В., Иванов К. В., Колубаев Е. А. *Изменение фазового состава сплава АМг5 при сварке трением с перемешиванием*..... 154

## **РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Строжук А. В., Жителев В. А., Звир Е. А., Поленок В. С. *Изменение геометрических параметров твэлов ВВЭР с повышенной нагрузкой урана при эксплуатации* ..... 160

Оленин М. И., Горынин В. И., Тимофеев Б. Т., Павлов В. Н., Рогожкин В. В. *Природа тепловой хрупкости сталей оборудования АЭС и методы ее снижения*..... 167

### **ХРОНИКА**

13-я международная конференция «Проблемы материаловедения при проектировании, изготовлении и эксплуатации оборудования АЭС»..... 174

**Рефераты публикуемых статей** ..... 179

**Авторский указатель**..... 189

**Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей.**

**Правила для авторов** ..... 191

## РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 669.14.018.41:621.785

**Повышение хладостойкости низколегированных термоулучшаемых сталей за счет коагуляции карбидных фаз.** Горынин В. И., Оленин М. И. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 5–14.

Исследовано влияние коагуляции карбидных фаз при старении после термического улучшения и термомеханической обработки на хладостойкость листов и поковок из стали 09Г2СА-А и труб из сталей Х80 и Х90, включая зону термического влияния после сварки. Показано, что коагуляция карбидных фаз обеспечивает подавление хрупкости низколегированных термоулучшаемых сталей.

*Ключевые слова:* низколегированные термоулучшаемые стали, коагуляция карбидных фаз, хладостойкость,

УДК 620.179.17

**Влияние термоциклирования стали СтЗкп на энергетические параметры акустической эмиссии.** Лебедев Е. Л., Храмов А. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 15–21.

Представлены результаты экспериментальных исследований по определению зависимости характеристик сигналов акустической эмиссии от изменения свойств стали СтЗКП в условиях термомеханических воздействий.

*Ключевые слова:* неразрушающий контроль, термомеханическая нагрузка, деградация механических свойств, акустическая эмиссия, ресурс.

УДК 669.15–194:621.039.536.2

**Опыт изготовления заготовки фланца крышки корпуса реактора ВВЭР-ТОИ из стали марки 15Х2МФА-А мод. А на ПАО «ЭНЕРГОМАШСПЕЦСТАЛЬ» (Украина).** Зотова А. О., Теплухина И. В., Цветков А. С., Зайцева О. Ю. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 22–33.

Произведен сравнительный анализ прокаливаемости стали марок 15Х2МФА-А мод. А и 15Х2НМФА кл. 1. Проанализирован опыт изготовления крупногабаритной заготовки фланца крышки корпуса реактора с толщиной стенки 660 мм из стали 15Х2МФА-А мод. А. Показана возможность получения металла с механическими свойствами в термоинерционной зоне сечения данной заготовки, соответствующими категории прочности КП45 с критической температурой хрупкости не выше минус 50°С.

*Ключевые слова:* сталь 15Х2МФА-А мод. А, прокаливаемость, фланец крышки корпуса реактора ВВЭР-ТОИ, опыт изготовления.

УДК 669.14.018.44:539.377

**Влияние фазового состава на деформационную способность стали марки 07Х12НМФБ при высоких температурах.** Кудрявцев А. С., Артемьева Д. А., Рейнер П. Я. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 34–40.

С целью определения оптимального температурного режима горячей пластической деформации исследовано влияние химического состава стали марки 07Х12НМФБ на ее деформационную способность при высоких температурах.

*Ключевые слова:* жаропрочная коррозионно-стойкая сталь, горячая пластическая деформация, деформационная способность.

УДК 669.28: 621.762

**Металлографические исследования высокотемпературных композиционных материалов на основе сплавов Мо–Si–В.** Большакова А. Н., Ефимочкин И. Ю., Мурашева В. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 41–46.

Методом механического легирования из элементарных порошков был получен высокотемпературный in-situ композиционный материал на основе системы Mo–Si–B, обладающий высокой стойкостью к окислению под воздействием высоких температур. Для полученных композиционных материалов исследована микроструктура и проведены испытания на окислительную стойкость.

*Ключевые слова:* композиционные материалы на основе системы Mo–Si–B, механическое легирование, порошковая металлургия, металлографические исследования, окислительная стойкость.

УДК 621.793.6

**Изготовление металлокомпозиционных защитных покрытий способом термодиффузии в переменном электромагнитном поле.** Кубанцев В. И., Фармаковский Б. В., Рязанов Е. М., Савицкий Д. С., Трачевский М. Л. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 47–59.

Рассмотрены закономерности и особенности формирования металлокомпозиционных покрытий металлоизделий способом термодиффузии в переменном электромагнитном поле. Методами электронной микроскопии и рентгенофазового анализа выполнено исследование микроструктуры покрытий. Показано, что исследуемые покрытия представляют собой многослойную систему, в которой каждый слой является металлокомпозитом. Описаны примеры практической реализации.

*Ключевые слова:* металлокомпозит, защитное покрытие, термодиффузия, электромагнитное поле, интерметаллид, микроструктура, индукционная установка.

УДК 621.763:537.311

**Об увеличении фактической площади скользящего контакта металлических графитсодержащих композитов под влиянием электрического тока и расплава Pb–Sn в контактном пространстве.** Фадин В. В., Алеутдинова М. И. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 60–65.

Исследовано влияние расплава Pb–Sn в контактном пространстве на токопроводящую площадь и электропроводность контакта. Проведена полумпирическая оценка электропроводности токопроводящего контакта, содержащего расплав Pb–Sn в контактном пространстве.

*Ключевые слова:* металлические графитсодержащие композиты, электропроводность токопроводящего контакта, расплав Pb–Sn, пара трения.

УДК 621.794.44: 621.822.175

**Формирование профилированных функциональных элементов на прецизионных поверхностях узлов гироскопических приборов методом ионного травления.** Беляев С. Н., Щербак А. Г. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 66–72.

Рассматривается технология формирования аэродинамического профиля на сферических поверхностях деталей газового подшипника поплавкового гироскопа методом ионного травления. Приведено описание ориентации деталей для формирования профиля переменной глубины, исследовано влияние структурно-фазового состояния сплава 40ХНЮ-ВИ на качество и точность формируемого профиля и предложены технические решения по согласованию режимов термообработки и технологии ионного травления. Представлены практические результаты исследований.

*Ключевые слова:* ионное травление, аэродинамический профиль, опора, гироскоп, двухступенчатый поплавковый гироскоп.

УДК 669.245:621.315.3

**Разработка тензо- и терморезистивных сплавов для литья микропроводов.** Масайло Д. В., Смелов А. И., Песков Т. В., Фармаковский Б. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 73–78.

Обоснованы перспективы использования литых микропроводов в стеклянной изоляции для создания миниатюрных чувствительных сенсоров. С учетом специфических особенностей литья микропроводов экспериментально разработаны термо- и тензорезистивные сплавы с существенно

новым комплексом электрофизических свойств. Оптимизированы конкретные составы терморезистивных сплавов на основе систем Ni–Sn и Ni–Cr.

*Ключевые слова:* термо- и тензорезистивные сплавы, литые микропровода, стеклянная изоляция, новый комплекс электрофизических свойств.

УДК 621.793.7–419

**Многослойные износостойкие и коррозионно-стойкие наноструктурированные функционально-градиентные покрытия, полученные методом магнетронного напыления.** Фармаковская А. Я., Бобкова Т. И., Ешметьева Е. Н. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 79–89.

Разработана новая технологическая схема нанесения многослойных металломатричных функционально-градиентных покрытий с периодически повторяющимися слоями. Выбор и оптимизация технологических режимов получения покрытий производились на установках типа «Булат» и «Магна-ТМ5».

*Ключевые слова:* наноструктурированные металломатричные функционально-градиентные покрытия; метод магнетронного напыления, износостойкость, коррозионная стойкость.

УДК 621.793.7:628.16

**Магнетронное напыление функционально-градиентных покрытий системы Ti-Ru-O для систем очистки воды.** Ешметьева Е. Н., Быстров Р. Ю., Беляков А. Н., Фармаковский Б. В., Васильев А. Ф., Красиков А. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 90–96.

Показана возможность получения методом реактивного вакуумного магнетронного напыления каталитически активных покрытий на основе оксидов титана и рутения с высокой адгезией к титановой подложке. Проведен сравнительный анализ характеристик покрытий, полученных термическим разложением солей титана, рутения и иридия и методом магнетронного напыления при одновременном распылении титана и рутения в среде кислорода.

*Ключевые слова:* функционально-градиентные покрытия, реактивное вакуумное магнетронное напыление, системы очистки воды.

УДК 678.067.5:621.315.61:621.396.6

**Создание высокопрочных водостойких диэлектриков и разработка технологии изготовления изделий радиотехнического назначения и судовой электроизоляции.** Орыщенко А. С., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Саргсян А. С., Чурикова А. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 97–108.

Приведены результаты исследования физико-механических и диэлектрических характеристик разработанных ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» эпоксидных стеклопластиков горячего прессования марок СТЭТ-1 и СТЭТ-2 при различных температурах в исходном состоянии и после экспозиции в воде, в том числе под действием гидростатического давления. Обобщен опыт применения изделий радиотехнического назначения в течение длительных сроков эксплуатации (до 15 лет).

*Ключевые слова:* эпоксидные стеклопластики горячего прессования, физико-механические и диэлектрические характеристики, радиотехника, судовая электроизоляция.

УДК 678.067:544.723

**Анализ связи водостойкости образцов и блоков конструкционных полимерных материалов (сферопластиков) с отношением площади их поверхности к объему.** Седлецкий Р. В., Николаев Г. И. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 109–121.

Исследована экспериментально в ходе гидроиспытаний и теоретически в рамках физико-химической менисковой модели реверсивного водомассопереноса под давлением связь водостойкости образцов (блоков) с отношением полной площади их поверхности к объему в высоконаполненных конструкционных полимерных композитах. Установлен нефиковский волнообразный характер этой связи, обусловленный наличием в таких композитах макромолекулярных дефектов в структуре их трехмерной сетки, а также обширных границ раздела полимер – наполнитель с их гидролизуемыми в процессе водопоглощения аппретными связями.

Показано, что именно эти факторы приводят к существенному усилению влияния процессов активированной адсорбции на разноэнергетических активных центрах с противофазным воздействием на полярность трехфазной границы раздела вода – полимер, регулирующей уровень водопоглощения.

*Ключевые слова:* сферопластик, мениск жидкости, реверсивный водомассоперенос, плавучесть, прочность, аппрет, границы раздела, стеклянные микросферы, гидростатическое давление.

УДК 678.067:544.723

**Анализ и экспериментальное обоснование реверсивной кинетики водомассопереноса в высоконаполненных полимерных конструкционных композитах (сферо-, стекло-, углепластиках).** Седлецкий Р. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 122–137.

В целях корректной оценки правильности интерпретации экспериментальных данных по исследованию кинетики процесса водопоглощения в высоконаполненных полимерных композитах была создана комплексная установка для непрерывного гидростатического взвешивания образцов в течение сотен часов с одновременной регистрацией кинетических кривых водопоглощения – время и температура рабочей жидкости – время. При этом с той же целью был выполнен термодинамический расчет тепловых эффектов – положительных при самопроизвольной адсорбции молекул воды на молекулярных дефектах структуры и отрицательных при диссоциации аппретных связей на границах раздела полимер – аппрет – наполнитель в ходе автокаталитического гидролиза.

При сопоставлении этих расчетов с данными, полученными в экспериментах на установке для непрерывной регистрации кинетических функций водопоглощения, было установлено точное их соответствие с выводами и принципами менисковой модели реверсивного водомассопереноса в полимерных композитах.

*Ключевые слова:* сферопластики, стеклопластики, углепластики, кинетика водомассопереноса (водопоглощение), гидростатическое давление, композит, молекулярная структура, реверсивность.

УДК 678.067:539.213:620.181.4

**Сравнительное определение температур стеклования полимерных композиционных материалов методами ДСК, ТМА и ДМА.** Хасков М.А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 138–144.

Проведены измерения температур стеклования  $T_c$  отвержденного связующего и композитов на его основе с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), термомеханического анализа (ТМА) и динамического механического анализа (ДМА). Показано, что на величины  $T_c$ , полученные методом ДСК может влиять рекомендуемая скорость охлаждения перед измерением, и данное влияние наиболее заметно для кинетически менее фрагильных образцов. Величины  $T_c$ , рассчитанные из начала падения динамического модуля упругости или из максимума модуля потерь выше для композитов по сравнению с отливкой отвержденного связующего. Наименее зависимыми от наполнителя величинами  $T_c$ , возможно, являются величины, полученные с помощью методов ТМА и ДМА при использовании в расчетах максимума тангенса потерь.

*Ключевые слова:* дифференциальная сканирующая калориметрия, динамический механический анализ, термический механический анализ, температура стеклования, сравнение методов, полимерные композиционные материалы.

УДК 678.067:544.723

**Анализ связи водостойкости образцов и блоков конструкционных полимерных материалов (сферопластиков) с отношением площади их поверхности к объему.** Седлецкий Р. В., Николаев Г. И. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 109–121.

Исследована экспериментально в ходе гидроиспытаний и теоретически в рамках физико-химической менисковой модели реверсивного водомассопереноса под давлением связь водостойкости образцов (блоков) с отношением полной площади их поверхности к объему в высоконаполненных конструкционных полимерных композитах. Установлен нефиковский волнообразный характер этой связи, обусловленный наличием в таких композитах

макромолекулярных дефектов в структуре их трехмерной сетки, а также обширных границ раздела полимер – наполнитель с их гидролизуемыми в процессе водопоглощения аппретными связями.

Показано, что именно эти факторы приводят к существенному усилению влияния процессов активированной адсорбции на разноэнергетических активных центрах с противофазным воздействием на полярность трехфазной границы раздела вода – полимер, регулирующей уровень водопоглощения.

*Ключевые слова:* сферопластик, мениск жидкости, реверсивный водомассоперенос, плавучесть, прочность, аппрет, границы раздела, стеклянные микросферы, гидростатическое давление.

УДК 678.067:544.723

**Анализ и экспериментальное обоснование реверсивной кинетики водомассопереноса в высоконаполненных полимерных конструкционных композитах (сферо-, стекло-, углепластиках).** Седлецкий Р. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 122–137.

В целях корректной оценки правильности интерпретации экспериментальных данных по исследованию кинетики процесса водопоглощения в высоконаполненных полимерных композитах была создана комплексная установка для непрерывного гидростатического взвешивания образцов в течение сотен часов с одновременной регистрацией кинетических кривых водопоглощения – время и температура рабочей жидкости – время. При этом с той же целью был выполнен термодинамический расчет тепловых эффектов – положительных при самопроизвольной адсорбции молекул воды на молекулярных дефектах структуры и отрицательных при диссоциации аппретных связей на границах раздела полимер – аппрет – наполнитель в ходе автокаталитического гидролиза.

При сопоставлении этих расчетов с данными, полученными в экспериментах на установке для непрерывной регистрации кинетических функций водопоглощения, было установлено точное их соответствие с выводами и принципами менисковой модели реверсивного водомассопереноса в полимерных композитах.

*Ключевые слова:* сферопластики, стеклопластики, углепластики, кинетика водомассопереноса (водопоглощение), гидростатическое давление, композит, молекулярная структура, реверсивность.

УДК 678.067:539.213:620.181.4

**Сравнительное определение температур стеклования полимерных композиционных материалов методами ДСК, ТМА и ДМА.** Хасков М.А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 138–144.

Проведены измерения температур стеклования  $T_c$  отвержденного связующего и композитов на его основе с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), термомеханического анализа (ТМА) и динамического механического анализа (ДМА). Показано, что на величины  $T_c$ , полученные методом ДСК может влиять рекомендуемая скорость охлаждения перед измерением, и данное влияние наиболее заметно для кинетически менее фрагильных образцов. Величины  $T_c$ , рассчитанные из начала падения динамического модуля упругости или из максимума модуля потерь выше для композитов по сравнению с отливкой отвержденного связующего. Наименее зависимыми от наполнителя величинами  $T_c$ , возможно, являются величины, полученные с помощью методов ТМА и ДМА при использовании в расчетах максимума тангенса потерь.

*Ключевые слова:* дифференциальная сканирующая калориметрия, динамический механический анализ, термический механический анализ, температура стеклования, сравнение методов, полимерные композиционные материалы.

УДК 678.742.2:539.2

**Структурные изменения сверхвысокомолекулярного полиэтилена под воздействием керамических нанодисперсий.** Охлопкова Т. А., Охлопкова А. А., Спиридонов А. М., Никифоров Л. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 145–153.

Исследована надмолекулярная структура полимерматричных нанокомпозитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного неорганическими наноразмерными

оксидами ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,5\% \text{MgO}, \text{SiO}_2$ ) методами рентгеноструктурного анализа при малоугловом и широкоугловом рассеянии рентгеновского излучения. Показано влияние наночастиц на процессы кристаллизации сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Сочетание этих методов с исследованиями на просвечивающем и сканирующем электронном микроскопе позволило сформулировать и детализировать характеристику упорядоченной фазы в полимерном нанокompозите.

*Ключевые слова:* сверхвысокомолекулярный полиэтилен, оксиды алюминия и кремния, алюмаг, таркосил, полимерный композиционный материал, надмолекулярная структура.

УДК 669.715:621.791.14

**Изменение фазового состава сплава АМг5 при сварке трением с перемешиванием.** Найдёнкин Е. В., Иванов К. В., Колубаев Е. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 154–159.

Методами рентгеноструктурного анализа и растровой электронной микроскопии исследовано изменение фазового состава сплава АМг5 в зоне термического воздействия при сварке методом трения с перемешиванием. Путем измерения параметра решетки обнаружено растворение частиц вторичных фаз в матрице. Установлено, что в зоне термического воздействия имеет место разрушение текстуры прокатки. Методом микрорентгеноспектрального анализа измерен химический состав частиц вторичных фаз, присутствующих в матрице.

*Ключевые слова:* сварка трением с перемешиванием, сплав АМг5, рентгеноструктурный анализ, растровая электронная микроскопия.

УДК 621.039.54

**Изменение геометрических параметров твэлов ВВЭР с повышенной загрузкой урана при эксплуатации.** Строзук А. В., Жителев В. А., Звир Е. А., Поленок В. С. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 160–166.

Представлены данные по изменению геометрических параметров твэлов с повышенной загрузкой урана ВВЭР-1000 (ТВСА-5М, ТВС-2М) и РК ВВЭР-440 второго поколения при эксплуатации. Показано, что наступление контакта между топливным сердечником и оболочкой и последующее увеличение диаметра твэлов происходит при меньших выгораниях топлива по сравнению с твэлами базовой конструкции. Существенных отличий в удлинении не выявлено.

*Ключевые слова:* твэлы ВВЭР с повышенной загрузкой урана, твэл базовой конструкции, механизмы формоизменения, изменение геометрических параметров.

УДК 669.15–194: 539.422.22

**Природа тепловой хрупкости сталей оборудования АЭС и методы ее снижения.** Оленин М. И., Горынин В. И., Тимофеев Б. Т., Павлов В. Н., Рогожкин В. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 3(79), с. 167–173.

Изучено влияние температурно-временных параметров старения феррита на сопротивление хрупкому разрушению стали марки 10ГН2МФА, широко используемой в атомной промышленности, после длительной выдержки в течение 60000 ч в диапазоне температур 270–310°C. Показано, что перестаривание ферритной фазы, приводящей к коагуляции цементита, позволяет уменьшить тепловое охрупчивание стали и повысить сопротивление ее хрупкому разрушению.

*Ключевые слова:* сталь 10ГН2МФА, тепловая хрупкость, температурно-временные параметры старения, сопротивление хрупкому разрушению.