

СОДЕРЖАНИЕ

К 90-летию со дня рождения академика РАН Игоря Васильевича Горынина..... 7

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

Иванова Л. А., Травин В. В., Бенеманская Г. В., Макаренко И. В., Петров В. Н. Эволюция структуры титанового сплава при упругопластическом нагружении образца 11

Сенникова Л. Ф., Давиденко А. А., Бурховецкий В. В., Закорецкая Т. А. Деформационная пористость прутков меди М06 после интенсивной пластической деформации 22

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Шабельская Н. П., Зеленская Е. А., Чернышев В. М., Сулима С. И., Постников А. А., Власенко А. И., Таранушич В. А., Сулима Е. В. Синтез наноразмерных ферритов-хромитов цинка и их каталитические свойства 29

Нагурянская Ю. Н., Власов Е. А. Исследование каталитических свойств Si-содержащих сплавов 36

Беляев С. Н., Щербак А. Г. Влияние структурно-фазовых изменений модифицируемого слоя на оптические характеристики растровых рисунков при лазерном маркировании 44

Соколов А. Г., Бобылёв Э. Э., Тимофеев Б. Т. Повышение эксплуатационных свойств режущего твердосплавного инструмента за счет диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов 53

Коберник Н. В., Михеев Р. С., Ваганов В. Е., Аборкин А. В. Структура и трибологические свойства антифрикционных покрытий, модифицированных углеродными нанотрубками 60

Кудяков А. И., Плевков В. С., Белов В. В., Невский А. В., Кудяков К. Л. Технология и состав углеродофибробетона с повышенной однородностью прочностных показателей 66

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Гончаров В. А., Федотов М. Ю., Шиёнок А. М., Иошин Д. В. Распределенные оптоволоконные сенсоры для контроля напряженно-температурного состояния конструкций 73

Гуняева А. Г., Чурсова Л. В., Федотов М. Ю., Черфас Л. В. Исследование углепластика с наномодифицированным молниезащитным покрытием и системой встроенного контроля на основе волоконных брэгговских решеток 80

Саргсян А. С., Бахарева В. Е. Новые теплостойкие стеклопластики электроизоляционного назначения 92

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Васильев Н. В., Карзов Г. П., Блюмин А. А., Боркин П. И., Зуева М. И. Исследование сенсibilизации околошовной зоны сварных соединений для подтверждения эффективности высокотемпературной термообработки аустенитных трубопроводов Ду300 АЭС с реакторами РБМК-1000 99

Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Михалева Э. И., Тимофеев М. Н. Исследование влияния термического цикла сварки на структурно-фазовые превращения металла сварных швов хромомолибденованадиевых теплоустойчивых сталей 108

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

Курс М. Г., Лаптев А. Б., Кутырев А. Е., Морозова Л. В. Исследование коррозионного разрушения деформируемых алюминиевых сплавов при натурно-ускоренных испытаниях. Часть 1 116

Войнов С. И., Железина Г. Ф., Павловская Т. Г., Волков И. А. Проблема контактной коррозии при создании слоистых металлополимерных композиционных материалов на основе алюминия и углепластика 127

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Марголин Б. З., Фоменко В. Н., Вакуленко А. А., Пиминов В. А., Чернобаева А. А. Определение запасов на пространственную неоднородность свойств материала при расчете сопротивления хрупкому разрушению корпусов реакторов ВВЭР-1000. Часть 1. Теоретический анализ..... 134

Марголин Б. З., Фоменко В. Н., Минкин А. И., Вакуленко А. А., Чернобаева А. А. Определение запасов на пространственную неоднородность свойств материала при расчете сопротивления хрупкому разрушению корпусов реакторов ВВЭР-1000. Часть 2. Экспериментальные исследования..... 151

Марголин Б. З., Костылев В. И., Фоменко В. Н., Акбашев И. Ф., Матковский В. В. Выбор размера контура интегрирования J-интеграла для расчета на сопротивление хрупкому разрушению корпусов реакторов типа ВВЭР при аварийном расхолаживании 162

РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Кулешова Е. А., Ерак А. Д., Бубякин С. А., Журко Д. А., Бандура А. П. Сравнительные исследования механизмов хрупкого разрушения стандартных и реконструированных образцов СТ из материалов корпусов реакторов ВВЭР-1000..... 180

ХРОНИКА

Памяти Олега Евгеньевича Литонова..... 192

Рефераты публикуемых статей 193

Авторский указатель..... 205

Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов 207

РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 669.295:539.431

Эволюция структуры титанового сплава при упругопластическом нагружении образца. Иванова Л. А., Травин В. В., Бенеманская Г. В., Макаренко И. В., Петров В. Н. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 11–21.

Методами атомной силовой и растровой электронной микроскопии исследовано изменение структуры образца из титанового псевдо-альфа-сплава на различных масштабных уровнях при поэтапном нагружении вплоть до разрушения. Показано, что дислокационная структура, характерная для начальных стадий растяжения образца, сменяется фрагментированной структурой на мезоуровне. Влияние исходной структуры образца по мере развития деформации постепенно исчезает.

Ключевые слова: титановый псевдо-альфа-сплав, упругопластическое нагружение, эволюция микроструктуры.

УДК 669.35:620.192.47:539.374

Деформационная пористость прутков меди М06 после интенсивной пластической деформации. Сенникова Л. Ф., Давиденко А. А., Бурховецкий В. В., Закорецкая Т. А. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 22–28.

Исследована деформационная пористость прутков из меди марки М06 (99,99%) после интенсивной пластической деформации методами гидроэкструзии и угловой гидроэкструзии. Показано, что использование угловой гидроэкструзии при обработке меди позволило снизить дефектность материала и повысить его функциональные свойства.

Ключевые слова: гидроэкструзия, угловая гидроэкструзия, пруток, деформационная пористость, твердость, плотность, электросопротивление.

УДК 661.847:66.097

Синтез наноразмерных ферритов-хромитов цинка и их каталитические свойства. Шабельская Н. П., Зеленская Е. А., Чернышев В. М., Сулима С. И., Постников А. А., Власенко А. И., Таранушич В. А., Сулима Е. В. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 29–35.

Изучены процессы фазообразования в системе состава $ZnFe_{2-x}Cr_xO_4$ ($x = 0,0; 1,4; 2,0$) с использованием методов РФА, электронной микроскопии, Шеррера, ВЕТ. Исследован механизм формирования однофазного синтезированного материала, включающий стадию образования хелатных комплексов катионов переходных элементов с лимонной кислотой и их последующего термического разложения. Установлена каталитическая активность синтезированных материалов в процессе окислительной деструкции метилового оранжевого в присутствии пероксида водорода. Результаты могут быть полезны для очистки сточных вод промышленных предприятий от органических красителей.

Ключевые слова: феррит цинка, хромит цинка, катализатор Фентона, очистка сточных вод, окислительная деструкция.

УДК 669.35:621.793.16

Исследование каталитических свойств Cu-содержащих сплавов. Нагурянская Ю. Н., Власов Е. А. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 36–43.

Представлены результаты окислирования Cu-содержащих сплавов в диапазоне температур 600–1000°C в течение 2–10 ч при объемном расходе воздуха 40 ч⁻¹, выявлены оптимальные условия получения прочных оксидных пленок. Исследовано влияние температуры, времени окислирования, а также механической обработки поверхности на толщину оксидной пленки сплавов и каталитическую активность в реакциях окисления CO, H₂, CH₄.

Ключевые слова: металлические пластины, окислирование, оксидная пленка, реакции окисления, медь, латунь.

УДК 669.26:621.793.7

Влияние структурно-фазовых изменений модифицируемого слоя на оптические характеристики растровых рисунков при лазерном маркировании. Беляев С. Н., Щербак А. Г. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 44–52.

Приведены результаты анализа топохимических взаимодействий при формировании растровых рисунков методом лазерного маркирования на поверхности покрытий нитрида титана. Предложены технологические методы и средства регулирования оптических и электрофизических свойств раstra за счет изменения фазового состава маркируемого слоя. Обоснована эффективность варьирования состава и парциальных давлений компонентов газовой среды для расширения возможностей процесса маркирования. Представлены практические результаты, подтверждающие аналитические расчеты.

Ключевые слова: лазерное маркирование, растровый рисунок, контрастность, ротор электростатического гироскопа, твердофазные взаимодействия.

УДК 669.295:621.793.6:621.961.025

Повышение эксплуатационных свойств режущего твердосплавного инструмента за счет диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов. Соколов А. Г., Бобылёв Э. Э., Тимофеев Б. Т. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 53–59.

Исследовано влияние диффузионного титанирования из среды легкоплавких жидкометаллических растворов на эксплуатационные свойства твердосплавного режущего инструмента. Покрытие наносили на пластины из сплавов марок Т5К10, Т15К6, ВК8, ВК12 путем их погружения в ампулу с легкоплавким раствором, содержащим титан. Предварительно пластины подвергали кратковременной высокотемпературной цементации. Пластины с титановым покрытием испытывали на стойкость при точении стали У10 после закалки и среднего отпуска (ее твердость 43–45 HRC), также контролировали качество получаемой после обработки поверхности. В ходе испытаний было установлено, что при наличии покрытия на инструменте период его стойкости увеличивается в 4–5 раз, а также в значительной степени повышается качество обработанной поверхности.

Ключевые слова: диффузионное титановое покрытие, режущий твердосплавной инструмент, период стойкости, повышение износостойкости, улучшение качества обработки.

УДК 621.791.927.55:621.891

Структура и трибологические свойства антифрикционных покрытий, модифицированных углеродными нанотрубками. Коберник Н. В., Михеев Р. С., Ваганов В. Е., Аборкин А. В. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 60–65.

Рассмотрена возможность модифицирования углеродными нанотрубками покрытий из баббитового сплава при плазменно-порошковой наплавке. С помощью методов оптической и электронной микроскопии изучена структура на поперечных шлифах и изломах покрытий. Установлено, что в условиях, характерных для процесса плазменной наплавки, не происходит деструкции углеродных нанотрубок. Отмечено увеличение пористости покрытий при использовании порошка, модифицированного углеродными нанотрубками. Модифицирование баббитовых покрытий углеродными нанотрубками приводит к снижению коэффициента трения в среднем на 25% и к увеличению износостойкости на 18% в рассмотренном диапазоне нагрузок.

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, углеродные нанотрубки, баббит, структура, коэффициент трения, износ.

УДК 666.98:693.542.4:539.4

Технология и состав углеродофибробетона с повышенной однородностью прочностных показателей. Кудяков А. И., Плевков В. С., Белов В. В., Невский А. В., Кудяков К. Л. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 66–72.

Приведены результаты исследования фибробетона на основе углеродных волокон. Рассмотрены различные технологические приемы введения углеродных волокон в бетонную смесь. Изучено влияние поверхностно-активных химических добавок на качество

предварительного (перед добавлением в бетонную смесь) разделения пучка волокон на отдельные волокна. Экспериментальным путем установлен оптимальный с точки зрения прироста прочности процент дисперсного армирования бетона углеродными волокнами и технология его изготовления. Выявлены зависимости относительного прироста прочности фибробетона при осевом сжатии и растяжении от объема дисперсного армирования бетона углеродными волокнами. В результате исследований получена технология и состав углеродофибробетона с повышенной однородностью прочностных показателей.

Ключевые слова: углеродофибробетон, углеродные волокна, дисперсное армирование, модифицирующие добавки, распределение волокон, прочность на сжатие и растяжение, однородность.

УДК 620.171.32.05

Распределенные оптоволоконные сенсоры для контроля напряженно-температурного состояния конструкций. Гончаров В. А., Федотов М. Ю., Шиёнок А. М., Иошин Д. В. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 73–79.

Представлены результаты испытаний образцов и панелей из углепластика с распределенными оптоволоконными сенсорами. Показана эффективность использования подобных чувствительных систем для контроля напряженно-температурного состояния конструкции. Исследованы спектральные характеристики с оценкой чувствительности к нагрузке и изменению температуры. По результатам механических испытаний проведено сравнение распределенных сенсоров с брэгговскими решетками.

Ключевые слова: распределенный сенсор, сдвиг бриллюэновской частоты, оптоволоконный сенсор, волоконная брэгговская решетка, импульсная оптическая рефлектометрия, углепластик, крупногабаритная панель.

УДК 678.067:629.7.067

Исследование углепластика с наномодифицированным молниезащитным покрытием и системой встроенного контроля на основе волоконных брэгговских решеток. Гуняева А. Г., Чурсова Л. В., Федотов М. Ю., Черфас Л. В. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 80–91.

Приведены результаты исследований влияния молниевых разрядов на углепластик с наномодифицированным молниезащитным покрытием и системой встроенного контроля на основе волоконных брэгговских решеток, введенных в структуру углепластика. Показаны основные характеристики углепластика с молниезащитным покрытием и результаты испытаний на молниестойкость. Получены графики изменения температуры и деформаций в процессе испытаний на молниестойкость.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, оптоволоконный сенсор, волоконная брэгговская решетка, углепластик, молниезащитное покрытие, наночастицы.

УДК 678.067.5

Новые теплостойкие стеклопластики электроизоляционного назначения. Саргсян А. С., Бахарева В. Е. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 92–98.

Представлены результаты сравнительных испытаний серии новых теплостойких полимерных композиционных материалов электроизоляционного назначения на основе стеклотканей и различных полимерных связующих, предназначенных для работы при температурах до 280°C. Исследованы терморезистивные (эпоксидные, кремнийорганические, полициануратные) и термопластичные связующие (полифениленсульфид).

Ключевые слова: теплостойкие стеклопластики, полифениленсульфид, электроизоляционные свойства, физико-механические свойства, сравнительные испытания.

УДК 621.791.052:621.78–978:621.039.536.4

Исследование сенсублизации околошовной зоны сварных соединений для подтверждения эффективности высокотемпературной термообработки аустенитных трубопроводов Ду300 АЭС с реакторами РБМК-1000. Васильев Н. В., Карзов Г. П., Блюмин А. А., Боркин П. И., Зуева М. И. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 99–107.

Исследованы закономерности распределения степени сенсбилизации по околошовной зоне сварного соединения трубопроводов Ду300 КМПЦ реакторов РБМК. Подтверждена эффективность выбранного режима высокотемпературной термообработки сварных соединений аустенитных трубопроводов Ду300.

Ключевые слова: степень сенсбилизации, околошовная зона сварного соединения, межкристаллитное коррозионное растрескивание под напряжением, метод потенциодинамической реактивации, диагностический комплекс «САХС-1».

УДК 621.791.053:621.039.536.2

Исследование влияния термического цикла сварки на структурно-фазовые превращения металла сварных швов хромомолибденованадиевых теплоустойчивых сталей. Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Михалева Э. И., Тимофеев М. Н. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 108–115.

Приведены результаты дилатометрических и металлографических исследований и определения микротвердости металла сварных швов, выполненных материалами для автоматической сварки корпусов ВВЭР и корпусов реакторов гидрокрекинга нефти. Установлено, что небольшие различия в содержании легирующих элементов никеля, хрома, молибдена и ванадия обуславливают различия структуры металла шва до проведения термической обработки.

Ключевые слова: корпус ВВЭР, корпуса реакторов нефтехимии, сварочные материалы, дилатометрия, микроструктура металла шва.

УДК 669.715:620.193.21

Исследование коррозионного разрушения деформируемых алюминиевых сплавов при натурно-ускоренных испытаниях. Часть 1. Курс М. Г., Лаптев А. Б., Кутырев А. Е., Морозова Л. В. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 116–126.

Приведены результаты исследования коррозионного разрушения перспективных алюминиевых сплавов восьми систем после 4-х лет натурно-ускоренных испытаний с повышением поверхностной концентрации хлоридов в условиях умеренно теплого климата.

Ключевые слова: коррозия, алюминиевые сплавы, натурные ускоренные испытания.

УДК 678.067–419:620.193

Проблема контактной коррозии при создании слоистых металлополимерных композиционных материалов на основе алюминия и углепластика. Войнов С. И., Железина Г. Ф., Павловская Т. Г., Волков И. А. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 127–133.

Рассмотрена проблема контактной коррозии в слоистых металлополимерных композиционных материалах на основе алюминия и углепластика, а также пути предотвращения ее возникновения.

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

УДК 621.039.536.2:539.422.22

Определение запасов на пространственную неоднородность свойств материала при расчете сопротивления хрупкому разрушению корпусов реакторов ВВЭР-1000. Часть 1. Теоретический анализ. Марголин Б. З., Фоменко В. Н., Вакуленко А. А., Пиминов В. А., Чернобаева А. А. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 134–150.

Рассмотрены основные методы прогнозирования температурной зависимости вязкости разрушения $K_{Jc}(T)$. Проанализирована система запасов, введение которых необходимо для адекватного и консервативного прогноза $K_{Jc}(T)$, на основе результатов испытаний образцов-свидетелей. Предложена методология определения запаса, учитывающего неоднородность сопротивления хрупкому разрушению материала корпуса реактора (КР). Эта методология базируется на вероятностном расчете сопротивления хрупкому разрушению КР, в котором в качестве входной информации используются условия нагружения, полученные в детерминистическом расчете прочности.

Ключевые слова: корпус реактора, вязкость разрушения, неоднородность свойств, методы прогнозирования.

УДК 621.039.536.2:539.422.22

Определение запасов на пространственную неоднородность свойств материала при расчете сопротивления хрупкому разрушению корпусов реакторов ВВЭР-1000. Часть 2. Экспериментальные исследования. Марголин Б. З., Фоменко В. Н., Минкин А. И., Вакуленко А. А., Чернобаева А. А. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 151–161.

На основании экспериментальных данных определены стандартные отклонения распределений критической температуры хрупкости T_K , в основном металле (в обечайках) и металле сварного шва для корпусов реакторов ВВЭР-1000. На основании данных по стандартным отклонениям T_K , плотности дефектов и их распределения по размерам, размерам постулируемого дефекта и данных по нагружению корпуса реактора в процессе аварийного расхолаживания определены величины запасов на пространственную неоднородность свойств материалов в терминах T_K , T_0 и Ω .

Ключевые слова: корпус реактора, вязкость разрушения, пространственная неоднородность.

УДК 621.039.536.2:539.422.22

Выбор размера контура интегрирования J-интеграла для расчета на сопротивление хрупкому разрушению корпусов реакторов типа ВВЭР при аварийном расхолаживании. Марголин Б. З., Костылев В. И., Фоменко В. Н., Акбашев И. Ф., Матковский В. В. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 162–179.

Разработана процедура расчета J-интеграла для задачи оценки ресурса корпуса реактора по критерию хрупкого разрушения в условиях аварийного расхолаживания. Сформулирован подход к выбору размера контура интегрирования, при котором обеспечивается адекватная оценка сопротивления хрупкому разрушению.

Ключевые слова: корпус реактора типа ВВЭР, расчет J-интеграла, сопротивление хрупкому разрушению, аварийное расхолаживание, размер контура интегрирования.

УДК 621.039.536.2:539.422.22

Сравнительные исследования механизмов хрупкого разрушения стандартных и реконструированных образцов СТ из материалов корпусов реакторов ВВЭР-1000. Кулешова Е. А., Ерак А. Д., Бубякин С. А., Журко Д. А., Бандура А. П. – Вопросы материаловедения, 2016, № 1(85), с. 180–191.

До 2002 года в комплекты образцов-свидетелей для действующих реакторов ВВЭР-1000 входили образцы типа SE(B). Переход от образцов SE(B) на образцы типа СТ при испытаниях на вязкость разрушения обусловлен необходимостью уменьшения разброса данных и снижения консервативности получаемых результатов, что происходит вследствие увеличения масштабного фактора и схемы нагружения образца. Для осуществления такого перехода была проведена реконструкция образцов SE(B) в образцы СТ. Представлен сравнительный фрактографический анализ стандартных и реконструированных образцов типа СТ после испытаний на вязкость разрушения, который показал, что в образцах обоих типов зарождение хрупкого разрушения начинается от «лидера». Типы «лидеров» и их соотношение не меняются, а результаты испытаний и фрактографического анализа стандартных и реконструированных образцов СТ описываются одной аналитической зависимостью CTOD(CID) для каждого отдельного материала и состояния.

Ключевые слова: корпус реактора ВВЭР-1000, хрупкое разрушение, результаты испытаний, сравнительный фрактографический анализ, стандартные и реконструированные образцы СТ.