

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
"ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ"

№ 3(75), 2013

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

Жегина И. П., Морозова Л. В., Григоренко В. Б., Зимина З. Н. Зависимость характера разрушения высокопрочных конструкционных мартенситно-старяющихся сталей типа H18K9M5T от технологических факторов..... 5

Шур В. Я., Коротков В. А., Шишкина Е. В. Исследование изменения поверхностного слоя стали 20ГЛ при плазменной закалке..... 15

Пазилова У. А., Хлусова Е. И., Киреева Т. С., Изотов В. И. Влияние отпуска на структуру и свойства в зоне термического влияния высокопрочной хромоникельмолибденовой стали 21

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Душин М. И., Чурсова Л. В., Хрульков А. В., Коган Д. И. Особенности изготовления полимерных композиционных материалов методом вакуумной инфузии 33

Давыдова М. Л., Соколова М. Д. Перспективный технологический способ получения полимерэластомерного материала 41

Охлопкова А. А., Никифоров Л. А., Гоголева О. В., Борисова Р. В. Наполнение сверхвысокомолекулярного полиэтилена модифицированным каолинитом. 48

Яковлев С. Н. Экспериментальное определение интенсивности изнашивания полиуретана при скольжении по абразивной поверхности. 55

Улитин Н. В., Насыров И. И., Набиев Р. Р., Широких Е. Б., Терещенко К. А. Фрактальный анализ как способ оценки вязкоупругих и деформационных электромагнитных свойств густосшитых сетчатых полимеров. 64

Седакова Е. Б., Козырев Ю. П. Влияние содержания дисперсного наполнителя на адгезию между наполнителем и матрицей в полимерных нанокompозитах триботехнического назначения. 70

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Гращенко Д. В., Исаева Н. В., Солнцев С. Ст., Евдокимов С. А. Высокотемпературные антиокислительные покрытия для углеродкерамических композиционных материалов. 76

Масайло Д. В., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А., Мазеева А. К. Литые микропровода в стеклянной изоляции из сплавов на основе меди с минимальным температурным коэффициентом сопротивления. 81

Орданьян С. С., Гордеев И. С. Применение пироуглерода как химического реагента для получения керамических композиционных материалов кубический нитрид бора – карбид кремния – кремний 88

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

Малышев В. Н., Петров С. Н. Оценка элементного состава металла стенок микротрещин, образующихся при коррозионном растрескивании стали X18H10T в хлоридных растворах, по данным рентгеноспектрального микроанализа. 94

Ожигов Л. С., Митрофанов А. С., Ружицкий В. В., Толстолуцкая Г. Д., Брык В. В., Василенко Р. Л., Воеводин В. Н. Коррозионно-эрозионный износ трубопроводов во втором контуре энергоблока с реактором ВВЭР-1000. 100

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Минкин А. И., Марголин Б. З., Смирнов В. И., Сорокин А. А. Развитие модели для прогнозирования статической трещиностойкости аустенитных материалов в условиях нейтронного облучения 107

РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Марголин Б. З., Юрченко Е. В., Морозов А. М., Чистяков Д. А. Новый метод прогнозирования теплового старения сталей корпусов реакторов типа ВВЭР 120

**МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ, ОБОРУДОВАНИЯ,
КОНСТРУКЦИЙ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ**

Андронов Е. В., Виноградов С. Е., Пименов А. В., Федотов Б. В. *Исследование влияния электроразрядного спекания на структуру и свойства материала брикета из стружечных металлических отходов стали Ст.3* 135

ХРОНИКА

Научно-технический семинар «Металлургия сварки и сварочные материалы», посвященный 100-летию Петрова Георгия Львовича 142

Рефераты публикуемых статей 145

Авторский указатель 153

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

Правила для авторов 155

РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 621.78:669.14 + 669.15–194.55

Зависимость характера разрушения высокопрочных конструкционных мартенситно-старееющих сталей типа Н18К9М5Т от технологических факторов. Жегина И. П., Морозова Л. В., Григоренко В. Б., Зимина З. Н. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 5–14.

Методом фрактографического анализа проведено исследование особенностей структуры высокопрочных конструкционных особо низкоуглеродистых мартенситно-старееющих сталей, полученных путем вакуумного дугового и электронно-лучевого переплавов.

После термической обработки, имитирующей нарушения технологического процесса (режим теплового охрупчивания), формируется крупнозернистая структура, в значительной степени снижается пластичность, по границам зерен выделяются карбиды и карбонитриды, что вызывает преимущественное зернограничное разрушение и объясняет снижение уровня механических свойств. Применение электронно-лучевого переплава приводит к повышению устойчивости материала к нарушению рекомендованной технологии обработки.

Ключевые слова: конструкционная высокопрочная мартенситно-старееющая сталь, электронно-лучевой переплав, вакуумно-дуговой переплав, термическая обработка, микроструктура, металлографический анализ, микрорентгеноспектральный анализ.

УДК 669.14.018:621.785.6:533.9.92

Исследование изменения поверхностного слоя стали 20ГЛ при плазменной закалке. Шур В. Я., Коротков В. А., Шишкина Е. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 15–20.

Представлены результаты исследования методами оптической и атомно-силовой микроскопией микроструктуры и микротвердости поверхностного закаленного слоя стали 20ГЛ, полученного с помощью установки ручной плазменной закалки УДГЗ-200.

Ключевые слова: плазменная поверхностная закалка, сталь 20ГЛ, атомно-силовая микроскопия.

УДК 669.15'26'24'28–194:620.181

Влияние отпуска на структуру и свойства в зоне термического влияния высокопрочной хромоникельмолибденовой стали. Пазилова У. А., Хлусова Е. И., Киреева Т. С., Изотов В. И. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 21–32.

Рассмотрены особенности структуры зоны термического влияния высокопрочной хромоникельмолибденовой судостроительной стали до и после высокого отпуска. Показано, что тип и морфология структурных составляющих, а также перераспределение углерода, зависящие от скорости охлаждения и степени отпуска, определяют твердость и вязкость ЗТВ.

Ключевые слова: высокопрочные судостроительные стали, зона термического влияния, отпуск, структура, механические свойства.

УДК 678.675:621.891

Особенности изготовления полимерных композиционных материалов методом вакуумной инфузии. Душин М. И., Чурсова Л. В., Хрульков А. В., Коган Д. И. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 33–40.

Рассмотрены особенности безавтоклавных технологий изготовления деталей из композитов путем пропитки сухих армирующих наполнителей. Исследовано влияние капиллярного давления и скорости подачи связующего на величину пористости. Приведены свойства углепластиков, изготовленных методом инфузии.

Ключевые слова: пропитка жидким связующим под вакуумом, инфузия, давление, скорость пропитки, пористость, время.

УДК 678.675:621.891

Перспективный технологический способ получения полимерэластомерного материала. Давыдова М. Л., Соколова М. Д. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 41–47.

Представлен технологический способ получения полимерэластомерного материала на основе бутадиен-нитрильного каучука (БНКС-18), сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и ультрадисперсного алмазографита (УДАГ) с использованием метода механоактивации. Проведен комплекс исследований основных эксплуатационных свойств резин, с помощью оптической, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии исследована их структура. Установлено, что совместная механоактивация СВМПЭ и УДАГ приводит к эффективному их смешению с получением полимерэластомерного материала с наиболее интенсивным взаимодействием на границе фаз БНКС-18 – СВМПЭ, что и является причиной улучшения эксплуатационных свойств модифицированных материалов.

Ключевые слова: совместная механоактивация, бутадиен-нитрильный каучук, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, ультрадисперсный алмазографит, полимерэластомерная композиция, полимерная наноконпозиция.

УДК 678.743.41:661.183.4

Наполнение сверхвысокомолекулярного полиэтилена модифицированным каолинитом. Охлопова А. А., Никифоров Л. А., Гоголева О. В., Борисова Р. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 48–54.

Представлены результаты исследований триботехнических полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), содержащих слоистый наполнитель. Разработаны технологии модификации слоистого каолинита соединениями различной химической природы путем совместной их механоактивации в планетарной шаровой мельнице. Полученные материалы характеризуются более высокой (в 4 раза) износостойкостью по сравнению с исходным СВМПЭ при сохранении или повышении уровня деформационно-прочностных свойств.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, каолинит, компатибилизатор, эксфолиация, структурообразование, поверхностно-активные вещества.

УДК 678.067:621.822

Экспериментальное определение интенсивности изнашивания полиуретана при скольжении по абразивной поверхности. Яковлев С. Н. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 55–63.

Представлены значения истираемости и линейной интенсивности износа в режиме скольжения конструкционных полиуретанов различной твердости. Описаны повреждения поверхностей изнашивания полиуретановых образцов. Приведены предельные значения критерия мощности при скольжении полиуретанов по стальной шлифованной поверхности.

Ключевые слова: экспериментальная установка, истираемость полиуретанов, нормализованная абразивная поверхность, интенсивность изнашивания, цементно-бетонное покрытие, площадь фактического контакта.

УДК 678:539.37:543.5

Фрактальный анализ как способ оценки вязкоупругих и деформационных электромагнитных свойств густосшитых сетчатых полимеров. Улитин Н. В., Насыров И. И., Набиев Р. Р., Широких Е. Б., Терещенко К. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 64–69.

Представлен фрактально-инкрементальный подход к теоретической оценке параметров математической модели связанных вязкоупругих и электромагнитных свойств густосшитых сетчатых полимеров. Данный подход позволил связать фрактальную размерность и статистические параметры топологической структуры густосшитых сетчатых полимеров с параметрами модели. С использованием компьютерного физического моделирования топологической структуры подход был апробирован на примере густосшитых эпоксиаминных полимеров. Адекватность модели, применяющей определенные в рамках фрактально-инкрементального подхода параметры, подтверждена при сопоставлении теоретических и эмпирических термооптических кривых.

Ключевые слова: вязкоупругие свойства, деформационные электромагнитные свойства, густосшитые сетчатые полимеры.

УДК 678.743.41:621.892

Влияние содержания дисперсного наполнителя на адгезию между наполнителем и матрицей в полимерных нанокompозитах триботехнического назначения. Седакова Е. Б., Козырев Ю. П. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 70–75.

Рассмотрены особенности применения физической модели относительного изнашивания для композитов с дисперсным наноразмерным наполнителем. Получены расчетные соотношения для определения доли немодифицированного полимера в композите в зависимости от концентрации и дисперсности наполнителя. Показано, что при прогнозировании триботехнических свойств полимерных нанокompозитов на основе физической модели относительного изнашивания необходимо учитывать ограничение по верхнему пределу концентраций наполнителя, связанное с переходом материала матрицы в полностью сорбированное состояние, так как дополнительное введение наполнителя приведет к снижению адгезионной прочности на границе полимер – наполнитель.

Ключевые слова: износ, композит, прогнозирование, наноразмерный наполнитель, адгезионная прочность, объемная концентрация.

УДК 666.764.5:669...693

Высокотемпературные антиокислительные покрытия для углеродкерамических композиционных материалов. Гращенко Д. В., Исаева Н. В., Солнцев С. Ст., Евдокимов С. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 76–80.

Рассматриваются проблемы создания высокотемпературных антиокислительных покрытий для углеродкерамических композиционных материалов, применяемых в авиационной, ракетной и космической технике, технологии их нанесения, а также их преимущества перед распространенными за рубежом технологиями.

Ключевые слова: углеродкерамические композиционные материалы, антиокислительные покрытия, технология нанесения.

УДК 669.35:621.315.3

Литые микропровода в стеклянной изоляции из сплавов на основе меди с минимальным температурным коэффициентом сопротивления. Масайло Д. В., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А., Мазеева А. К. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 81–87.

Проведено исследование двойных систем Cu–Si; Cu–Cr; Cu–Mn; Cu–Fe; Cu–Ni; Cu–Ga; Cu–Ge; Cu–Pd; Cu–In; Cu–Sn; Cu–Ag с целью получения микропроводов в стеклянной изоляции. Определены наиболее перспективные бинарные композиции медь – марганец и медь – никель, являющиеся основой для создания литевых сплавов с температурным коэффициентом сопротивления менее $1 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Ключевые слова: сплавы на основе меди, литой микропровод, стеклянная изоляция, температурный коэффициент сопротивления, удельное сопротивление.

УДК 666.3/.7:546.281 261

Применение пироуглерода как химического реагента для получения керамических композиционных материалов кубический нитрид бора – карбид кремния – кремний. Орданьян С. С., Гордеев И. С. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 88–93.

Обсуждаются методы получения композиционных материалов в системе кубический нитрид бора – карбид кремния – кремний с применением пироуглерода в качестве химически активного реагента на стадии образования карбидокремниевой матрицы. Рассмотрены основные свойства пироуглерода, его строение, свойства, методы применения. Представлены наиболее эффективные способы введения пироуглерода в заготовку из кубического нитрида бора.

Ключевые слова: пироуглерод, методы синтеза пироуглерода, силицирование, кубический нитрид бора, композиционные материалы, безусадочные технологии.

УДК 620.196.2:669.14.018.8

Оценка элементного состава металла стенок микротрещин, образующихся при коррозионном растрескивании стали X18H10T в хлоридных растворах, по данным рентгеноспектрального микроанализа. Малышев В. Н., Петров С. Н. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 94–99.

Приводятся данные рентгеноспектрального микроанализа состава металла стенок трещин, образующихся при коррозионном растрескивании после испытаний U-образных образцов из стали X18H10T в насыщенных растворах NH_4Cl при $\sim 100^\circ\text{C}$. На основе этих данных рассчитано относительное изменение состава металла по основным легирующим элементам в поверхностных слоях трещины в зависимости от доли в них окислов.

Ключевые слова: сталь X18H10T, коррозионное растрескивание, стенки микротрещины, содержание элементов, рентгеноспектральный микроанализ.

УДК 621.039.6:620.19.193

Коррозионно-эрозионный износ трубопроводов во втором контуре энергоблока с реактором ВВЭР-1000. Ожигов Л. С., Митрофанов А. С., Ружицкий В. В., Толстолуцкая Г. Д., Брык В. В., Василенко Р. Л., Воеводин В. Н. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 100–106.

Исследован коррозионно-эрозионный износ рабочих поверхностей плоскоспиральных трубных элементов (ПСТЭ) подогревателей питательной воды энергоблока с ВВЭР-1000, изготовленных из ферритно-перлитной стали марки 20. С применением металлографии, сканирующей электронной микроскопии, микрорентгеноспектрального анализа показано, что рабочая поверхность ПСТЭ, снятых с эксплуатации по причине образования в них сквозных протечек, представляет собой сплошной ямочный рельеф с ферритным каркасом в виде мозаики из граничащих между собой округленных ямок. Элементный состав поверхностных слоев соответствует оксиду железа FeO . Было установлено, что образование ферритного каркаса связано с процессами избирательной коррозии перлитных колоний из-за наличия несплошностей на оксидной пленке. Установлено уменьшение количества десорбированного водорода при увеличении износа трубных элементов. Результаты электронно-микроскопических исследований структуры поверхностей ПСТЭ и особенностей выделения водорода из изношенного металла показывают, что износ двухфазной ферритно-перлитной стали марки 20 обусловлен ускоренной избирательной коррозией перлита с эрозионным выносом продуктов.

Ключевые слова: коррозионно-эрозионный износ, подогреватели питательной воды, ферритно-перлитная сталь, металлография, сканирующая электронная микроскопия, газовыделение водорода.

УДК 669.15–194.56:621.039.531:539.219.2

Развитие модели для прогнозирования статической трещиностойкости аустенитных материалов в условиях нейтронного облучения. Минкин А. И., Марголин Б. З., Смирнов В. И., Сорокин А. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 107–119.

На основе разработанной ранее авторами общей модели прогнозирования трещиностойкости облученных аустенитных материалов предложена новая менее консервативная модель. Эта модель позволяет получать температурно-дозовые зависимости трещиностойкости отдельно для основного металла и для металла шва в диапазоне температур испытаний от 20 до 350°C . В качестве входной информации в модели используются значения трещиностойкости материала в исходном состоянии и температурно-дозовые зависимости предела текучести и предела прочности материала.

Ключевые слова: аустенитные материалы, облучение, трещиностойкость, прогноз.

УДК 621.785.78:621.039.531

Новый метод прогнозирования теплового старения сталей корпусов реакторов типа ВВЭР. Марголин Б. З., Юрченко Е. В., Морозов А. М., Чистяков Д. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 120–134.

Предложен новый метод прогнозирования теплового старения корпусных реакторных сталей. Метод базируется на результатах испытаний материала в двух состояниях: состаренного при повышенных температурах (относительно температуры эксплуатации) и отожженного после облучения при температуре эксплуатации корпуса реактора. Для прогнозирования теплового старения корпусных реакторных сталей использованы уравнение Мак Лина и зависимости, описывающие термоактивируемую и радиационно-индуцированную диффузию фосфора. Выполнены экспериментальные исследования по оценке старения стали 15Х2НМФА с содержанием фосфора ~0,018% (0,016–0,020%) и значениях начальной температуры хрупкости $T_{к0} = -41^{\circ}\text{C}$ и $T_{к0} = -2^{\circ}\text{C}$. На основании полученных экспериментальных данных и предложенного метода для времени $t = 5 \cdot 10^5$ ч (~60 лет эксплуатации) даны оценки сдвига критической температуры хрупкости ΔT_k . Полученные сдвиги ΔT_k обусловлены охрупчиванием основного металла и металла шва корпусов реакторов ВВЭР-1000 за счет возникновения сегрегаций фосфора.

Ключевые слова: тепловое охрупчивание, внутризеренные и зернограничные сегрегации фосфора, равновесная сегрегация, коэффициент диффузии.

УДК 669.054.8:621.777:621.762.4

Исследование влияния электроразрядного спекания на структуру и свойства материала брикета из стружечных металлических отходов стали Ст.3. Андронов Е. В., Виноградов С. Е., Пименов А. В., Федотов Б. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 3(75), с. 135–141.

Исследованиями установлено, что однократное прессование и спекание в электропечах измельченных стружечных металлических отходов стали Ст.3 приводит к получению брикетов с низкой прочностью, склонных к осыпанию и поломкам. Повторное прессование брикетов с последующим длительным спеканием в электропечах или с последующим кратковременным электроразрядным спеканием повышает прочность материала брикета. Электроразрядное спекание повышает уровень прочности, плотности, электропроводности материала брикетов до 90–95% по отношению к свойствам исходного компактного материала того же состава. После однократного прессования и спекания брикетов в электропечах поры имеют форму удлинённых полостей с острыми краями, после повторного прессования и спекания форма пор сохраняется, но размеры их уменьшаются, после электроразрядного спекания форма пор приближается к округлой.

Ключевые слова: сталь Ст.3, стружечные металлические отходы, электроразрядное спекание, прессование брикета.