

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

- Миллюц В. Г., Цуканов В. В., Малыхина О. Ю., Насоновская Л. Б., Владимиров А. Г., Голубцов В. А., Левагин Е. Ю. Влияние комплексного модифицирования высокопрочной судостроительной стали на состав и морфологию неметаллических включений..... 5
- Громов В. Е., Волков К. В., Иванов Ю. Ф., Юрьев А. Б., Коновалов С. В., Морозов К. В. Формирование тонкой структуры металла рельсов повышенной износостойкости..... 15
- Рябов Д. К., Колобнев Н. И., Самохвалов С. В., Вахромов О. В. Изменение механических и коррозионных свойств сплава 1913 при искусственном старении..... 24
- Гостищев В. В., Химухин С. Н., Теслина М. А., Астапов И. А. Получение сплавов на основе алюминидов никеля металлотермическим восстановлением оксидов..... 30
- Сенникова Л. Ф., Давиденко А. А., Спусканюк В. З., Дмитренко В. Ю., Закорецкая Т. А. Влияние деформационно-термической обработки на механические и функциональные свойства сплава $Cu-Cr-Zr$ 35
- Потехин Б. А., Христолюбов А. С., Жилияков А. Ю., Илюшин В. В. Особенности формирования структуры композитных бронз, армированных стальными дендритами..... 43
- Леонов В. П., Счастливая И. А., Иголкина Т. Н., Кикинов К. И., Кропотов В. А., Трошин А. Н. Использование метода конечных элементов для моделирования напряженно-деформированного состояния при создании длинномерных турбинных лопаток из высокопрочных титановых сплавов..... 50

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Старцев О. В., Махоньков А. Ю., Деев И. С., Никишин Е. Ф. Исследование старения углепластика КМУ-4л после 12 лет экспонирования на Международной космической станции методом динамического механического анализа. 1. Исходное состояние..... 61
- Старцев О. В., Махоньков А. Ю., Деев И. С., Никишин Е. Ф. Исследование старения углепластика КМУ-4л после 12 лет экспонирования на Международной космической станции методом динамического механического анализа. 2. Влияние места расположения пластин в многослойных пачках..... 69
- Старцев О. В., Курс И. С., Деев И. С., Никишин Е. Ф. Термическое расширение углепластика КМУ-4л после 12 лет экспонирования в условиях открытого космоса..... 77
- Душин М. И., Хрульков А. В., Гусев Ю. А., Караваев Р. Ю. Роль капиллярного числа в процессах пропитки преформ жидкими связующими..... 86
- Охлопкова А. А., Петрова П. Н., Федоров А. Л. Использование отработанных моторных масел для получения износостойких композитов на основе политетрафторэтилена..... 92

НАНОРАЗМЕРНЫЕ И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Неруш С. В., Евгенов А. Г., Ермолаев А. С., Роголев А. М. Исследование мелкодисперсного металлического порошка жаропрочного сплава на никелевой основе для лазерной LMD наплавки..... 98

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

- Вайнерман А. А., Вайнерман А. Е., Веретенников М. М. Некоторые особенности аргонодуговой сварки медных сплавов с азотистой аустенитной сталью марки 04X20H6Г11M2АФБ..... 108
- Пименов А. В., Тарантаев А. В. Сравнительные испытания в производственных условиях сварочных флюсов, применяемых при изготовлении мостовых и строительных конструкций..... 123

РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Кулешова Е. А., Артамонов М. А., Ерак А. Д. Источники зарождения хрупкой микротрещины при испытаниях на трещиностойкость сталей корпусов реакторов ВВЭР-1000 в различных состояниях 131

ИСПЫТАНИЯ, ДИАГНОСТИКА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ

Соколовская Э. А. О воспроизводимости результатов измерений структур и изломов с использованием компьютеризированных процедур 143

ХРОНИКА

Памяти Валентина Михайловича Пашина 154

Конференции 2014 года 156

Рефераты публикуемых статей 159

Авторский указатель 169

Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов 171

РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 669.14.018.293:669.046.516.4

Влияние комплексного модифицирования высокопрочной судостроительной стали на состав и морфологию неметаллических включений. Милюц В. Г., Цуканов В. В., Малыхина О. Ю., Насоновская Л. Б., Владимиров А. Г., Голубцов В. А., Левагин Е. Ю. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 5–14.

Исследовано влияние модифицирующей обработки высокопрочной судостроительной стали порошковыми проволоками с FeCa и с FeCa в комплексе с редкоземельными металлами (РЗМ) на распределение, состав и морфологию неметаллических включений. Показано, что модифицирование как FeCa, так и совместно FeCa и РЗМ с обеспечением содержания кальция и церия в металле в пределах 0,002–0,003% каждого позволяет получить высокопрочную судостроительную сталь с невысокой загрязненностью неметаллическими включениями.

Ключевые слова: судостроительная сталь, модифицирование, феррокальций, РЗМ, состав и морфология неметаллических включений.

УДК 669.14.018.294.2:539.538

Формирование тонкой структуры металла рельсов повышенной износостойкости. Громов В. Е., Волков К. В., Иванов Ю. Ф., Юрьев А. Б., Коновалов С. В., Морозов К. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 15–23.

Методами просвечивающей электронной микроскопии проведен послойный анализ металла рельсов повышенной износостойкости и контактной выносливости и установлены количественные параметры дефектной субструктуры и структурно-фазовых состояний, образовавшихся по диффузионному и сдвиговому механизмам (γ - α)-превращения. Выполнены оценки механизмов упрочнения стали, качественно согласующиеся с результатами измерения твердости.

Ключевые слова: рельсы, структура, фазовый состав, плотность дислокаций, упрочнение.

УДК 669.715:621.785.7:539.4

Изменение механических и коррозионных свойств сплава 1913 при искусственном старении. Рябов Д. К., Колобнев Н. И., Самохвалов С. В., Вахромов О. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 24–29.

Большинство алюминиевых сплавов, применяемых в авиационной технике и автомобилестроении, являются термически упрочняемыми, что позволяет в широких пределах варьировать комплекс свойств полуфабрикатов, применяя различные режимы термической обработки, включающие закалку и старение. Сплавы системы Al–Zn–Mg–Cu (зарубежная серия 7xxx) после искусственного старения при максимально достижимых высоких характеристиках прочности могут иметь пониженную коррозионную стойкость. В сплавах системы Al–Zn–Mg при длительном старении (более 20 ч) на максимальную прочность коррозионные характеристики могут значительно улучшиться.

Представлены результаты исследований влияния режимов одноступенчатого искусственного старения (в интервале температур 80–185°C с максимальным временем выдержки 36 ч) на механические и коррозионные свойства листов из российского коррозионно-стойкого свариваемого сплава 1913. Определены области максимальной прочности, а также сильного перестаривания. Показано, что одноступенчатые режимы старения при температуре ниже 120°C обеспечивают повышенный уровень механических свойств, но приводят к неудовлетворительной коррозионной стойкости (МКК, РСК), а старение при температурах выше 120°C позволяет добиться повышения коррозионной стойкости в зависимости от длительности выдержки.

Ключевые слова: сплав 1913, термическая обработка, искусственное старение, механические свойства, коррозионная стойкость.

УДК 669.245'71:669.046

Получение сплавов на основе алюминидов никеля металлотермическим восстановлением оксидов. Гостищев В. В., Химухин С. Н., Теслина М. А., Астапов И. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 30–34.

Изучены условия получения сплавов Ni–Al, Ni–Al–Cr, Ni–Al–Mo, Ni–Al–W алюминотермией оксидов металлов. Установлен состав исходной шихты, обеспечивающий максимальный выход металлов в сплав. Продукты металлотермического восстановления идентифицируются элементарным и рентгенофазовым анализом как интерметаллиды NiAl, NiAl₃ и Ni₂Al₃, содержащие 2,9–3,7% хрома, молибдена или вольфрама.

Ключевые слова: интерметаллиды Ni–Al, алюминотермия, микротвердость

УДК 669.3'26'296:621.789:539.374

Влияние деформационно-термической обработки на механические и функциональные свойства сплава Cu–Cr–Zr. Сенникова Л. Ф., Давиденко А. А., Спусканюк В. З., Дмитренко В. Ю., Закорецкая Т. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 35–42.

Исследовано влияние комбинированной пластической деформации методами угловой гидроэкструзии, гидроэкструзии и волочения в сочетании с термической обработкой в различных комбинациях и последовательности на физико-механические свойства сплава Cu–Cr–Zr. Разработана схема деформационно-термической обработки сплава, при которой получены максимальные значения твердости, значительно превосходящие известные результаты. Установлена корреляционная зависимость твердости и плотности сплава от степени накопленной деформации по схеме с угловой гидроэкструзией. Определен уровень удельного электрического сопротивления сплава в результате деформационно-термической обработки.

Ключевые слова: угловая гидроэкструзия, степень накопленной деформации, бронза, термическая обработка.

УДК 669.35

Особенности формирования структуры композитных бронз, армированных стальными дендритами. Потехин Б. А., Христолюбов А. С., Жилияков А. Ю., Илюшин В. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 43–49.

Исследованы бронзы экспериментального состава типа БрЖНКА 9-4-1-1, в которых матрица представляет собой бронзу БрНА 4-1, армированную стальными дендритами, основой которых является мартенситно-старяющаяся сталь Н12К8Ю. Количество дендритов можно регулировать. Рассмотрены морфология дендритов (слиток, поковка, наплавка), межфазовый массоперенос при термических обработках, дисперсное твердение стальной компоненты сплава; оценены механические свойства. Трибологические свойства данных бронз не уступают известной антифрикционной бронзе БрО10, а их технологические свойства (деформируемость, свариваемость) в отличие от БрО10 существенно выше.

Ключевые слова: бронза, дендрит, твердый раствор, термическая обработка, трибологические свойства.

УДК 669.295:621.438

Использование метода конечных элементов для моделирования напряженно-деформированного состояния при создании длинномерных турбинных лопаток из высокопрочных титановых сплавов. Леонов В. П., Счастливая И. А., Иголкина Т. Н., Кикинов К. И., Кропотов В. А., Трошин А. Н. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 50–60.

С использованием программы компьютерного моделирования Deform 3D разработана и освоена методика 3D-моделирования технологии изготовления штампованной заготовки крупногабаритной лопатки длиной 1600 мм. Были рассмотрены три стадии штамповки, включающие нагрев, промежуточное остывание при переносе заготовки, охлаждение заготовки вследствие теплообмена со штампом. В результате моделирования было получено распределение температурных полей и полей деформаций на разных этапах штамповки. На основании расчета было выявлено, что на всех этапах штамповки температура заготовки не превышает температуру полиморфного превращения. Моделирование показало, что данная заготовка может быть отштампована в соответствии с нормативными требованиями.

Ключевые слова: титановые сплавы, турбинные лопатки, напряженно-деформированное состояние, 3D-моделирование.

УДК 678.067:620.181.4

Исследование старения углепластика КМУ-4л после 12 лет экспонирования на Международной космической станции методом динамического механического анализа. 1. Исходное состояние. Старцев О. В., Махоньков А. Ю., Деев И. С., Никишин Е. Ф. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 61–68.

С помощью чувствительного обратного крутильного маятника исследована область перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое связующего ЭНФБ-2 углепластика КМУ-4л без покрытия и с терморегулирующим покрытием TP-CO-2 при трехкратном сканировании в режиме нагрев – охлаждение в интервале температур 25–200°С. Рассмотрены эффекты изменения температуры стеклования и динамического модуля сдвига, обусловленные последовательными нагревами. Проанализировано влияние клея ВК-9 и терморегулирующего покрытия TP-CO-2 на поверхности углепластика на его вязкоупругие свойства в широком диапазоне температур. С использованием метода ДМА, показано воздействие влаги в составе углепластика на его механические свойства и температуру стеклования связующего.

Ключевые слова: вязкоупругие свойства, температура стеклования, динамический механический анализ, эпоксидное связующее, крутильный маятник, углепластик.

УДК 678.067:620.181.4

Исследование старения углепластика КМУ-4л после 12 лет экспонирования на Международной космической станции методом динамического механического анализа. 2. Влияние места расположения пластин в многослойных пачках. Старцев О. В., Махоньков А. Ю., Деев И. С., Никишин Е. Ф. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 69–76.

Рассмотрены различия динамического модуля сдвига и модуля потерь углепластика КМУ-4л при переходе из стеклообразного состояния в высокоэластическое связующего ЭНФБ-2 углепластика КМУ-4л без покрытия и с терморегулирующим покрытием TP-CO-2 после 12 лет экспонирования в открытом космосе на поверхности Международной космической станции. Обнаружены эффекты изменения температуры стеклования, зависящие от места расположения пластин в пачках, состоящих из 5–8 слоев. Показано, что причиной обнаруженных эффектов является доотверждение связующего при циклических нагревах под воздействием солнечного излучения.

Ключевые слова: динамический модуль сдвига, модуль потерь температура стеклования, динамический механический анализ, эпоксидное связующее, крутильный маятник, углепластик.

УДК 678.067:620.181.4

Термическое расширение углепластика КМУ-4л после 12 лет экспонирования в условиях открытого космоса. Старцев О. В., Курс И. С., Деев И. С., Никишин Е.Ф. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 77–85.

Методом термомеханического анализа исследованы свойства углепластика КМУ-4л без покрытия и с терморегулирующим покрытием TP-CO-2 в исходном состоянии и после 12 лет экспонирования в 5–8 слоев в составе кассеты «Компласт» на внешней поверхности функционального грузового блока Международной космической станции. На основе данных линейного термического расширения получена количественная оценка защитных свойств терморегулирующего покрытия TP-CO-2 и клея ВК-9. Установлено, что длительная экспозиция в открытом космосе не вызвала заметных изменений коэффициента линейного термического расширения исследуемого материала. Для пластин, экспонированных на поверхности пачки, отмечается уменьшение значений коэффициента линейного термического расширения в направлении, перпендикулярном плоскости армирования.

Ключевые слова: углепластик, кассета «Компласт», международная космическая станция, коэффициент линейного термического расширения, термомеханический анализ.

УДК 678.7

Роль капиллярного числа в процессах пропитки преформ жидкими связующими. Душин М. И., Хрульков А. В., Гусев Ю. А., Караваев Р. Ю. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 86–91.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования механизма образования микро- и макропор в изделиях из ПКМ в зависимости от скорости подачи связующего, связанной с безразмерной величиной, носящей название капиллярное число.

Ключевые слова: RTM (Resin Transfer Molding), пустоты, пористость, проницаемость, капиллярное число, капиллярное давление.

УДК 678.743.41: 665.521.5:539.62

Использование отработанных моторных масел для получения износостойких композитов на основе политетрафторэтилена. Охлопкова А. А., Петрова П. Н., Федоров А. Л. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 92–97.

Представлены результаты исследований по разработке триботехнических полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, где в качестве модификаторов использованы отработанные масла. Изложены результаты ИК-спектроскопических исследований использованных масел, поверхностей трения и частиц износа полимерных композитов. Показана перспективность использования отработанных моторных масел для получения износостойких композитов на основе политетрафторэтилена.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, моторное масло, поверхность трения, износ.

УДК 621.762:669.24

Исследование мелкодисперсного металлического порошка жаропрочного сплава на никелевой основе для лазерной LMD наплавки. Неруш С. В., Евгенов А. Г., Ермолаев А. С., Роголев А. М. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 98–107.

Исследованы мелкодисперсные металлические порошки из жаропрочного сплава ЭП648-ВИ для адаптивной лазерной LMD наплавки, полученные методом атомизации на установке HERMIGA 10/100 VI. Показано, что полученные при распылении холодным и горячим газом мелкодисперсные порошки имеют низкое содержание кислорода, сферическую форму, выраженную дендритную структуру во всем диапазоне гранулометрического состава. Адаптивная лазерная LMD наплавка с применением металлического порошка жаропрочного сплава ЭП648-ВИ гранулометрического состава 40–80 мкм по отработке технологии ремонта сектора моноколеса гарантирует высокое качество наплавленного материала (наличие дефектов типа микротрещин, непроваров, пористости не выявлено).

Ключевые слова: атомизация, распыление, синтез, наплавка, порошки, гранулы, пористость, гранулометрический состав, аддитивные технологии.

УДК 621.791.76: 669.35:669.14.018.8

Некоторые особенности аргонодуговой сварки медных сплавов с азотистой аустенитной сталью марки 04X20H6Г11M2АФБ. Вайнерман А. А., Вайнерман А. Е., Веретенников М. М. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 108–122.

Исследована возможность сварки медных сплавов с азотистой сталью. Показано, что сварка успешно осуществляется с применением подслоя, наплавленного стальной проволокой марки ЭП-263Ш (Св-08Х32Н8Ш) на свариваемую азотистую сталь.

Ключевые слова: азотистая сталь, медный сплав, аргонодуговая сварка, наплавка.

УДК 621.791.048

Сравнительные испытания в производственных условиях сварочных флюсов, применяемых при изготовлении мостовых и строительных конструкций. Пименов А. В., Тарантаев А. В. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 123–130.

Приведены результаты испытаний в производственных условиях флюса марки ПФК-56С в сравнении с другими флюсами применительно к мостовым и строительным конструкциям на сталях марок 10ХСНД, 15ХСНД и 09Г2С. Показана конкурентоспособность отечественного флюса марки ПФК-56С. В сочетании с проволокой марки Св-08ГА флюс марки ПФК-56С аттестован Национальным агентством контроля сварки и допущен к изготовлению конструкций стальных мостов.

Ключевые слова: сварка, агломерированный флюс, низколегированные стали, мостостроение.

УДК 669.15–194:621.039.536.2:539.422.22

Источники зарождения хрупкой микротрещины при испытаниях на трещиностойкость сталей корпусов реакторов ВВЭР-1000 в различных состояниях. Кулешова Е. А., Артамонов М. А., Ерак А. Д. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 131–142.

При фрактографических исследованиях сталей корпусов ядерных реакторов после испытаний на трещиностойкость обнаружено два основных источника хрупкого разрушения: неметаллические включения, межзеренная или субзеренная граница. Микрорентгенспектральный анализ показал, что они являются сульфидами марганца и оксидами кремния. Выявлен вероятный размер неметаллического включения (~1 мкм), от которого может зарождаться хрупкое разрушение. Рассмотрена связь между критическим коэффициентом интенсивности напряжений K_{Jc} и расстоянием от «лидера» до вершины выращенной усталостной трещины CID (cleavage initiation distance). Показано влияние условий облучения на трещиностойкость сталей.

Ключевые слова: трещиностойкость, корпус реактора ВВЭР-1000, радиационное охрупчивание, хрупкое разрушение, неметаллическое включение.

УДК 658.562

О воспроизводимости результатов измерений структур и изломов с использованием компьютеризированных процедур. Соколовская Э. А. – Вопросы материаловедения, 2013, № 4(76), с. 143–153.

Для широкого спектра изображений структур (рисунок дендритов, неметаллические включения на нетравленном шлифе, микроструктура листовой стали) хрупких и вязких изломов сопоставлены факторы, определяющие воспроизводимость и сопоставимость результатов измерения их геометрии. Это, в частности, уровень бинаризации матрицы распределения интенсивности яркости, объем накопленной статистики измерений (поле зрения на металлографическом шлифе, длина траектории трещины по измерениям на изломе), влияние мезогеометрии изломов на результаты измерения их микростроения. Полученные результаты могут быть использованы при разработке массовых, документированных процедур измерения геометрии изображений структур и изломов и их применении на практике.

Ключевые слова: изображения структур и изломов, компьютеризированные процедуры, бинаризация изображений, статистика измерений.