

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
"ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ"

№ 2(78), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Горынин И. В. К читателям. От Броневое института – к многопрофильному материаловедческому центру..... 5

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

Орыщенко А. С., Хлусова Е. И., Голосиенко С. А. Принципы легирования и требования к технологическим процессам производства высокопрочных корпусных сталей нового поколения..... 9

Мальшевский В. А., Калинин Г. Ю., Тепленичева А. С., Мушников С. Ю., Фомина О. В., Харьков А. А. Высокопрочные аустенитные свариваемые стали для судостроения..... 26

Горынин И. В., Орыщенко А. С., Леонов В. П., Кудрявцев А. С., Михайлов В. И., Чудаков Е. В. Морские титановые сплавы – настоящее и будущее 36

Горынин И. В., Леонов В. П., Кудрявцев А. С., Иванова Л. А., Травин В. В., Лысенко Л. В. Титановые сплавы в паротурбиностроении..... 48

Леонов В. П., Копылов В. Н., Ртищева Л. П., Смирнов В. Г., Егоров М. В. Освоение и особенности технологии производства титановых труб на заводах России..... 63

Орыщенко А. С., Уткин Ю. А., Петров С. Н., Пташник А. В. Исследования макрокристаллического строения центробежно-литых труб и количественный анализ дисперсных фаз в межграницном пространстве сплавов базовой композиции 50X32H43 при рабочих температурах..... 73

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Горынин И. В., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Лишевич И. В., Никитина И. В. Теплостойкие антифрикционные углепластики с полимерной матрицей из супертермопластов 85

Шакина А. В., Штанов О. В. Исследование влияния углерода и фрикционного наполнителя на свойства порошкового фрикционного материала 96

Геращенко Д. А., Фармаковский Б. В., Самоделкин Е. А., Геращенко Е. Ю. Исследование адгезионной прочности композиционных армированных покрытий системы металл – неметалл, полученных методом холодного газодинамического напыления..... 103

КОНСТРУКЦИОННЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Горынин И. В., Орыщенко А. С., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А. Перспективные исследования и разработки научного нанотехнологического центра ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области новых наноматериалов..... 118

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Бишоков Р. В., Барышников А. П., Гежа В. В., Мельников П. В. Сварочные материалы и технологии сварки высокопрочных сталей..... 128

Павлова В. И., Зыков С. А., Осокин Е. П. Оценка влияния конструктивно-технологических факторов сварки на свойства сварных соединений из алюминиево-магниевого сплавов при криогенной температуре..... 138

Овсепян С. В., Базылева О. А., Летников М. Н., Аргинбаева Э. Г. Расчет стабильности неразъемного соединения жаропрочных никелевого и интерметаллидного сплавов..... 155

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ

Орыщенко А. С., Кузьмин Ю. Л. Создание электрохимической катодной и протекторной защиты от коррозии кораблей, судов и морских сооружений..... 163

РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Карзов Г. П., Марголин Б. З., Теплухина И. В., Пиминов В. А. Повышение безопасности эксплуатации энергетических установок типа ВВЭР на основе совершенствования стали для корпусов реакторов..... 184

Орыщенко А. С., Горынин И. В., Леонов В. П., Счастливая И. А. Титановые сплавы для корпусов атомных реакторов малой и средней мощности 199

Рефераты публикуемых статей 211

Авторский указатель..... 221

Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов 222

РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 669.14.018.295:629.5

Принципы легирования и требования к технологическим процессам производства высокопрочных корпусных сталей нового поколения. Орыщенко А. С., Хлусова Е. И., Голосиенко С. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 9–25.

Разработаны принципы легирования новых высокопрочных хладостойких сталей для морской техники с пределом текучести 500–800 МПа, основанные на использовании пониженного содержания дорогостоящих легирующих элементов, показаны технологические процессы их производства. Изложены требования к оптимальной структуре высокопрочных сталей для морской техники, описаны термомодеформационные схемы горячей пластической обработки с прямой закалкой и последующим отпуском для формирования структурных элементов наноразмерного масштаба, реализуемые в промышленных условиях. Представлены результаты опробования промышленного производства новых высокопрочных сталей и сравнение их свойств с известными сталями, поставляемыми после закалки и отпуска.

Ключевые слова: высокопрочные корпусные стали, микролегирование ниобием и ванадием, структурные элементы наноразмерного масштаба, горячая пластическая обработка.

УДК 669.15'786–194.56:620.193

Высокопрочные аустенитные свариваемые стали для судостроения. Малышевский В. А., Калинин Г. Ю., Тепленичева А. С., Мушникова С. Ю., Фомина О. В., Харьков А. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 26–35.

Приводятся результаты многолетних исследований по созданию азотсодержащих высокопрочных аустенитных сталей для судостроения. Показано влияние химического состава и технологии на кристаллическую решетку и структуру сталей, механические и коррозионные свойства, свариваемость и другие характеристики.

С помощью исследований тонкой структуры азотсодержащих аустенитных сталей обосновывается важная роль азота, способного более эффективно, чем углерод, влиять на повышение уровня прочности и коррозионной стойкости, сохраняя при этом на высоком уровне пластические свойства, сопротивление циклическим и динамическим нагрузкам. Дана оценка их магнитных и вибродемпфирующих характеристик. Высокопрочная аустенитная азотсодержащая сталь с пределом текучести 650 МПа успешно осваивается отечественной промышленностью и находится на завершающей стадии внедрения для строительства ответственных тяжело нагруженных конструкций. Дана прогнозная оценка дальнейшего развития аустенитных азотистых сталей для различных отраслей промышленности.

Ключевые слова: азотсодержащие высокопрочные аустенитные стали, структура и свойства, ответственные тяжело нагруженные конструкции, перспективы применения.

УДК 669.295:629.5

Морские титановые сплавы – настоящее и будущее. Горынин И. В., Орыщенко А. С., Леонов В. П., Кудрявцев А. С., Михайлов В. И., Чудаков Е. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 36–47.

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» первым в мире инициировал применение титановых сплавов в качестве конструкционных материалов для морской техники. Разработанные специализированные титановые сплавы для корпусов кораблей, судовой энергетики и судового машиностроения нашли широкое применение, как в судостроении, так и в других отраслях промышленности. Созданы корпусные титановые сплавы с пределом текучести до 785 МПа и технологии изготовления крупногабаритных полуфабрикатов: плит толщиной до 160 мм, листовых штамповок и кованных заготовок. Опыт разработки и 50-летней эксплуатации судостроительных корпусных конструкций из титановых сплавов показал, что оптимальным вариантом композиции свариваемых титановых сплавов для морской техники являются псевдо- α -сплавы. Эти сплавы характеризуются хорошей свариваемостью, высокой коррозионно-механической прочностью и работоспособностью в составе сварных конструкций, технологичностью в металлургическом и судостроительном производствах. В настоящее время ведутся работы по повышению прочности сплавов псевдо- α -класса до 950 МПа, а также исследования по разработке сверхпрочного морского титанового сплава для автономного обитаемого аппарата, позволяющего проводить гидро- и геологические исследования

и работы на глубинах до 11 км. Проводятся работы по применению морских титановых сплавов для оборудования, работающего в экстремальных условиях эксплуатации при добыче углеводородов на арктическом морском шельфе.

Ключевые слова: титановые сплавы, псевдо- α -сплавы, опыт разработки, перспективы применения.

УДК 669.295:621.165

Титановые сплавы в паротурбиностроении. Горынин И. В., Леонов В. П., Кудрявцев А. С., Иванова Л. А., Травин В. В., Лысенко Л. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 48–62.

Рассмотрены основные результаты комплексных исследований свойств высокопрочных свариваемых титановых псевдо- α -сплавов состава: 6%Al, 1,5%V, 1,0%Mo, 0,5%Zr, 0,1%C и 6%Al, 2,0%Mo, 0,5%Zr, 0,1%C, определяющих их эффективное использование в деталях, узлах и изделиях транспортных паротурбинных установок. Оценены резервы прочности титановых элементов энергооборудования.

Ключевые слова: титановые псевдо- α -сплавы, паротурбинные установки, статическая прочность, малоцикловая и многоцикловая выносливость, термическая стабильность.

УДК 669.295:621.774

Освоение и особенности технологии производства титановых труб на заводах России. Леонов В. П., Копылов В. Н., Ртищева Л. П., Смирнов В. Г., Егоров М. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 63–72.

Поскольку после распада СССР производство титановых труб для кораблей ВМФ и оборудования атомной энергетики оказалось за пределами России – на Украине, были утрачены производственные связи, прекратилось производство и поставка титановых труб, техническая документация на поставку титановых труб также была сосредоточена на Украине (калькодержатель ТУ – Укр.НИТИ, Днепропетровск, Украина). Для обеспечения строительства заказов ВМФ, оборудования атомной энергетики высококачественными титановыми трубами широкого сортамента необходимо было организовать их производство на предприятиях Российской Федерации.

ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» был проведен анализ состояния отечественных предприятий, способных производить трубы из титановых сплавов. Критериями оценки являлись имеющиеся на данных предприятиях оборудование, уровень технического и технологического обеспечения, наличие квалифицированного персонала и опыт производственной деятельности по организации изготовления высококачественных холоднодеформированных труб. Анализ по указанным критериям и требованиям показал, что наиболее подготовленными для таких работ были предприятия корпорации ОАО «ТВЭЛ»: ОАО «Чепецкий механический завод», г. Глазов и ОАО «Машиностроительный завод» (ООО «ЭЛЕМАШ-СПЕЦТРУБОПРОКАТ»), г. Электросталь. Уникальные технологии производства титановых слитков, горячепрессованных титановых заготовок и высококачественных титановых труб для изделий атомной энергетики и судостроения были разработаны на этих заводах.

Ключевые слова: титановые трубы, промышленное производство, особенности технологии.

УДК 669.018.44:669.187.56:621.74.042

Исследования макрокристаллического строения центробежно-литых труб и количественный анализ дисперсных фаз в межграницном пространстве сплавов базовой композиции 50X32H43 при рабочих температурах. Орыщенко А. С., Уткин Ю. А., Петров С. Н., Пташник А. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 73–84.

Определены основные направления исследований, связанных с совершенствованием системы легирования разработанной в ЦНИИ КМ «Прометей» большой группы жаростойких жаропрочных сплавов для змеевиковых систем высокотемпературных установок различного назначения. Исследовано макрокристаллическое строение центробежно-литых труб и проведен количественный анализ дисперсных фаз в межграницном пространстве сплавов базовой композиции 50X32H43 при рабочих температурах. Найдены оптимальные методы производства

литых изделий и конструкций, обеспечивающие стабильность фаз при эксплуатации высокотемпературного оборудования.

Ключевые слова: жаростойкие жаропрочные сплавы, легирование, змеевиковые системы, высокотемпературные установки, центробежно-литые трубы, макрокристаллическое строение.

УДК 678.067:621.891

Теплостойкие антифрикционные углепластики с полимерной матрицей из супертермопластов. Горынин И. В., Анисимов А. В., Бахарева В. Е., Лишевич И.В., Никитина И. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 85–95.

В ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» впервые в России созданы новые антифрикционные углепластики с полимерной матрицей из супертермопластов – полигетероариленов. В этих углепластиках сочетаются высокая прочность и износостойкость при трении со смазкой водой, в том числе перегретой, агрессивными жидкостями, сжиженными газами, бензином, маслами и в ряде случаев без смазки. Важным преимуществом новых антифрикционных углепластиков является возможность их работы в большом диапазоне температур – от криогенных (-240°C) до 200°C . Имеется успешный опыт применения подшипников из новых углепластиков в центробежных насосах судовых энергетических установок и в качестве подшипников в паровых турбинах.

Ключевые слова: антифрикционный углепластик, подшипники скольжения, супертермопласты, полигетероарилены, теплостойкость, диапазон температур эксплуатации.

УДК 621.762:621.891:620.178.16

Исследование влияния углерода и фрикционного наполнителя на свойства порошкового фрикционного материала. Шакина А. В., Штанов О. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 96–102.

Изучено влияние углерода и фрикционных наполнителей (оксидов алюминия и кремния) на свойства порошковых материалов с целью последующей разработки экономичного износостойкого металлокерамического фрикционного материала для вагонной тормозной колодки на железной основе. Представлены результаты фрикционных испытаний порошковых материалов железо – углерод и железо – фрикционный наполнитель с целью определения коэффициента трения и объемного износа. Описано состояние поверхностного слоя исследуемых материалов с целью объяснить полученные зависимости объемного износа и коэффициента трения от содержания углерода и фрикционных наполнителей.

Ключевые слова: фрикционный материал, порошковая металлургия, коэффициент трения, объемный износ, поверхностный слой.

УДК 621.793.7

Исследование адгезионной прочности композиционных армированных покрытий системы металл – неметалл, полученных методом холодного газодинамического напыления. Геращенко Д. А., Фармаковский Б. В., Самоделкин Е. А., Геращенко Е. Ю. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 103–117.

Исследовано влияние концентрации армирующей компоненты и способа получения порошковой композиции на адгезионную прочность композиционных покрытий системы металл – неметалл. Дано обоснование выбора в качестве материала матрицы сплава системы Al-Zn-Sn, в качестве армирующей компоненты – оксида алюминия Al_2O_3 . Представлены результаты экспериментальных исследований адгезионной прочности покрытий, состоящих из матричного материала системы Al-Zn-Sn и армированных покрытий системы Al-Zn-Sn и Al_2O_3 , полученных различными методами.

Ключевые слова: композиционные армированные покрытия, система металл – неметалл, адгезионная прочность, метод холодного газодинамического напыления.

УДК 669.017:620.1

Перспективные исследования и разработки научного нанотехнологического центра ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» в области новых наноматериалов. Горынин И. В., Орыщенко А. С., Фармаковский Б. В., Кузнецов П. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 118–127.

Приводится информация о технологических возможностях научного нанотехнологического центра ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» на примере получения нанодисперсных материалов, функциональных и функционально-градиентных покрытий на их основе, а также объемных 3D-изделий особо сложной формы. Показаны уникальные преимущества нанопроизводства с точки зрения сочетания самого современного технологического оборудования с оперативными методами контроля структуры и свойств наноматериалов. Приводятся результаты комплексных исследований для получения конкретных наукоемких изделий.

Ключевые слова: нанодисперсные материалы, нанотехнологический центр ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», перспективные исследования и разработки.

УДК 669.14.018.295:621.791.04

Сварочные материалы и технологии сварки высокопрочных сталей. Бишоков Р. В., Барышников А. П., Гежа В. В., Мельников П. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 128–137.

Представлен обзор сварочных материалов, технологий сварки и методов, используемых при сварке конструкций из высокопрочных сталей. Определены приоритеты дальнейшего развития автоматизации технологий и использования концентрированных источников энергии совместно с традиционными технологиями сварки. Показано, что наиболее перспективной задачей является создание объемных конструктивных металлических материалов с мелкодисперсными структурами для обеспечения уникального сочетания высокого уровня прочности, пластичности, вязкости, сопротивления усталостному и коррозионно-механическому разрушению за счет формирования равномерно распределенных или пространственно-текстурированных наноразмерных структур.

Ключевые слова: высокопрочные стали, сварочные материалы, технологии сварки, приоритетные направления.

УДК 621.791:669.715+721

Оценка влияния конструктивно-технологических факторов сварки на свойства сварных соединений из алюминиево-магниевого сплава при криогенной температуре. Павлова В. И., Зыков С. А., Осокин Е. П. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 138–154.

Исследовано влияние основных факторов сварки (состав присадочного материала, способ сварки, повторные сварочные нагревы, характер оформления сварного шва) на свойства наплавленного металла и сварных соединений сплава 1550 и 1565ч при температурах 293–77 К. Установлена склонность металла стыковых соединений сплава 1550 (так же как самого сплава) к низкотемпературному упрочнению в отличие от сплава 1565ч, прочность соединений которого при низких температурах соответствует прочности при комнатной температуре. Упрочнение при криогенной температуре сварных соединений сплава 1565ч может быть достигнуто благодаря формированию мелкозернистой структуры металла шва за счет использования присадочного материала, содержащего скандий, и применения способа сварки в твердой фазе, а также конструктивно-технологического оформления шва.

Ключевые слова: алюминиево-магниевого сплавы, стыковые соединения, наплавленный металл, конструктивно-технологические факторы сварки, механические свойства, криогенная температура.

УДК 669.14.018.44

Расчет стабильности неразъемного соединения жаропрочных никелевого и интерметаллидного сплавов. Овсяян С. В., Базылева О. А., Летников М. Н., Аргинбаева Э. Г. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 155–162.

Применительно к производству ротора типа «блиск» исследованы неразъемные соединения из жаропрочных интерметаллидных литейных (ВКНА-4У, ВКНА25, ВКНА-1В) и никелевого деформируемого ЭП975-ИД сплавов, выполненные пайкой, ротационной сваркой трением, деформацией на наковальне Бриджмена. Определен локальный химический состав, проведено

физико-химическое моделирование зон соединения как в исходном состоянии, так и после термической обработки.

По результатам расчета показано, что фазовый состав соединения ВКНА-ЭП975 стабилен, выделение топологических плотноупакованных фаз маловероятно. Это свидетельствует о возможности применения для неразъемного соединения диск – лопатка пары никелевый сплав ЭП975 и интерметаллидный сплав типа ВКНА.

Ключевые слова: жаропрочный никелевый сплав, жаропрочный интерметаллидный сплав, легирование, химический состав, неразъемное соединение, термическая обработка, фазовая стабильность, моделирование.

УДК 620.197.5:629.5

Создание электрохимической катодной и протекторной защиты от коррозии кораблей, судов и морских сооружений. Орыщенко А. С., Кузьмин Ю. Л. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 163–183.

Представлены основные направления создания отечественных систем электрохимической катодной и протекторной защиты от коррозии кораблей, судов и морских сооружений. Рассмотрены критерии электрохимической защиты конструкционных судостроительных металлических материалов от коррозионных и коррозионно-механических разрушений в морской воде, созданные в ЦНИИ КМ «Прометей» новые анодные и протекторные материалы, аноды, протекторы и применение разработанных на их основе систем катодной и протекторной защиты в судостроении, на флоте и в народном хозяйстве.

Ключевые слова: защита от коррозии, система электрохимической защиты, аноды, протекторы, основные направления исследований.

УДК 669.15–194:621.039.536.2

Повышение безопасности эксплуатации энергетических установок типа ВВЭР на основе совершенствования стали для корпусов реакторов. Карзов Г. П., Марголин Б. З., Теплухина И. В., Пиминов В. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 184–198.

Рассмотрены материаловедческие аспекты повышения безопасности эксплуатации перспективных реакторов типа ВВЭР. Сформулированы требования к материалам корпусов реакторов и проведен анализ применимости корпусной стали 15X2НМФА кл.1 и стали 15X2МФА-А модификаций А и Б для изготовления корпусов реакторов повышенной безопасности при эксплуатации. Представлены результаты исследований радиационного и теплового охрупчивания стали 15X2МФА-А мод. А и мод. Б.

Ключевые слова: энергетическая установка типа ВВЭР, корпусная сталь, радиационное и теплое охрупчивание, безопасность эксплуатации.

УДК 669.295:621.039.536.2

Титановые сплавы для корпусов атомных реакторов малой и средней мощности. Орыщенко А. С., Горынин И. В., Леонов В. П., Счастливая И. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 2(78), с. 199–210.

Основным направлением развития атомной энергетики в России и за рубежом в XXI веке является расширение применения водо-водяных реакторов с повышенным ресурсом, гарантированно надежных и в максимальной степени экологически безопасных. Уже сегодня на повестке дня стоит проблема обеспечения срока службы реакторных установок до 60–100 лет.

На основании исследований возможности применения титановых сплавов в качестве конструкционного материала оборудования компактных ЯЭУ нового поколения с водяным теплоносителем сделан прогноз о перспективности развития данного направления для энергоустановок АЭС малой и средней мощности. Рассмотрены физико-механические и эксплуатационные характеристики титановых сплавов применительно к техническим требованиям, предъявляемым к ЯЭУ нового поколения. Проведена оценка массогабаритных характеристик корпусных конструкций, технологичности и экономичности при изготовлении корпусного оборудования ЯЭУ, представлены предварительные данные о радиационной стойкости титановых сплавов при нейтронном облучении до флюенса $2 \cdot 10^{20}$ нейтр./см², а также определены

композиции нового класса малоактивируемых материалов на основе титана для ядерной энергетики.

Ключевые слова: водо-водяные реакторы, утилизация радиоактивных отходов, титановые сплавы, перспективы применения.