

# Научно-технический журнал "Вопросы материаловедения"

№ 1(45), 2006

## СОДЕРЖАНИЕ

И. В. Горынин. Краткий биографический очерк .....	3
Поздравление от президента Российской Академии наук Юрия Сергеевича Осипова.....	7

### МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Баннх О. А., Блинов В. М., Костина М. В. Исследования эволюции структуры азотистой коррозионно-стойкой аустенитной стали 06X21AG10H7MФБ при термомеханическом и термическом воздействии .....	9
Счастливец В. М. Некоторые особенности структурных и фазовых превращений в высоколегированных судостроительных сталях .....	20
Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. Структура и свойства хладостойких сталей для конструкций северного исполнения .....	24
Калинин Г. Ю., Мушникова С. Ю., Нестерова Е. В., Фомина О. В., Харьков А. А. Исследования структуры и свойств высокопрочной коррозионно-стойкой азотистой стали .....	45
Мотовилина Г. Д., Пазилова У. А., Хлусова Е. И. Влияние легирования на структуру и свойства зоны термического влияния сварного соединения из высокопрочной хромоникельмолибденовой стали .....	54
Каблов Е. Н. Конструкционные и функциональные материалы — основа экономического и научно-технического развития России .....	64
Ушков С. С., Кудрявцев А. С., Карасев Э. А. Становление и развитие производства титановых полуфабрикатов для судостроения .....	68
Ушков С. С., Баранов А. В., Павлова В. И., Осокин Е. П. Создание сварных сталеалюминиевых корпусных конструкций .....	79
Рыбин В. В., Андреев Г. Н., Барахтина Н. Н., Осокин Е. П. Некоторые аспекты создания современных морских высокопрочных алюминиевых сплавов со скандием.....	92

### МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Морозов А. М., Филимонов Г. Н., Цуканов В. В. Основные принципы легирования сталей для корпусов атомных реакторов типа ВВЭР .....	103
Карзов Г. П., Николаев В. А., Филимонов Г. Н. Разработка и совершенствование радиационно-стойких сталей для корпусов водо-водяных атомных реакторов .....	111
Марков В. Г., Трапезников Ю. М. Конструкционные материалы для реакторов на быстрых нейтронах с натриевым и свинцовым теплоносителями.....	124
Карзов Г. П., Тимофеев Б. Т., Чернаенко Т. А. Малоцикловая усталость низколегированной теплоустойчивой стали марки 15X2MФА .....	133
Орыщенко А. С. Разработка жаростойких сплавов для элементов конструкции радиантной части змеевиков высокотемпературных установок нефтесинтеза .....	147
Рыбин В. В., Ушков С. С., Кожевников О. А. Сплавы на основе титана — перспективный материал для атомной энергетики.....	159

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Рыбин В. В., Кузнецов П. А., Улин И. В., Фармаковский Б. В., Бахарева В. Е. Наноматериалы конструкционного и функционального класса.....	169
Рыбин В. В., Бахарева В. Е., Николаев Г. И., Анисимов А. В. Антифрикционные углепластики в машиностроении.....	178
Орыщенко А. С., Слепнев В. Н., Галеев И. М., Бланк Е. Д. Управление структурно-фазовым состоянием покрытий на основе Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> при напылении методом HVOF .....	191
Виноградов С. Е., Кузнецов В. Е., Орыщенко А. С., Рутберг Ф. Г., Рыбин В. В., Сафронов А. А., Шекалов В. И., Ширяев В. Н. Теоретический анализ и экспериментальная проверка закономерностей износа двухслойных электродов низкотемпературных плазмотронов .....	195

## **СВАРКА И НАПЛАВКА. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Калинников В. Т., Николаев А. И., Брусницын Ю. Д. Перспективы использования минерально-сырьевой базы Карело-Кольского региона для производства сварочных материалов — электродов и флюсов .....	201
Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Михалева Э. И., Морозовская И. А., Яковлева Г. П. Современные сварочные материалы для сварки и наплавки корпусов реакторов типа ВВЭР .....	212
Рыбин В. В., Вайнерман А. Е., Баранов А. В., Андронов Е. В., Пичужкин С. А. Исследование особенностей и разработка прогрессивных технологий сварки медных сплавов со сталями и наплавки медных сплавов на стали.....	220

## **КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА МЕТАЛЛОВ**

Кузьмин Ю. Л., Михайлова М. А., Николаев Г. И., Пирогов В. Д. Разработки в области противокоррозионной защиты металлоконструкций и объектов техники .....	230
---	-----

<b>Рефераты публикуемых статей .....</b>	<b>239</b>
--	------------

## РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 669.15`786–194:621.785:620.187

**Исследования эволюции структуры азотистой коррозионно-стойкой аустенитной стали 06X21АГ10Н7МФБ при термомеханическом и термическом воздействии.** Банных О. А., Блинов В. М., Костина М. В. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 9–20.

Приведены результаты электронно-микроскопического исследования изменений структуры разработанной в ИМЕТ РАН совместно с ЦНИИ КМ «Прометей» высокопрочной коррозионно-стойкой высокоазотистой немагнитной стали типа 06X21АГ10Н7МФБ после горячей прокатки и горячей прокатки с последующей закалкой или отпуском по режимам, обеспечивающим наилучшее сочетание прочности и пластичности.

*Ключевые слова:* высокопрочная коррозионно-стойкая высокоазотистая немагнитная сталь, горячая прокатка, термическая обработка, прочность, пластичность.

УДК 669.14.018.293:669.017.3

**Некоторые особенности структурных и фазовых превращений в высоколегированных судостроительных сталях.** Счастливец В. М. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 20–24.

Изложены в историческом аспекте результаты совместной работы лаборатории физического металловедения Института физики металлов УрО РАН с ЦНИИ КМ «Прометей» по изучению возможности проявления структурной наследственности в деформируемых, а затем и литых низкоуглеродистых легированных сталях и поискам методов ее устранения.

*Ключевые слова:* стали высоколегированные судостроительные, фазовые превращения, структурная наследственность, исторический аспект.

УДК 669.14.018.41

**Структура и свойства хладостойких сталей для конструкций северного исполнения.** Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 24–44.

Работа посвящена системному изучению процессов формирования структуры и свойств экономнолегированных сталей на основных стадиях производства — выплавки, термической и термомеханической обработки для создания хладостойких свариваемых сталей различных категорий прочности, оптимального состава и прогнозирования их работоспособности в составе конструкций арктического исполнения.

*Ключевые слова:* хладостойкие свариваемые стали, категории прочности, формирование структуры, конструкции арктического исполнения.

УДК 669.15`786–194

**Исследования структуры и свойств высокопрочной коррозионно-стойкой азотистой стали.** Калинин Г. Ю., Мушникова С. Ю., Нестерова Е. В., Фомина О. В., Харьков А. А. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 45–54.

Представлены результаты исследований по влиянию структуры новой коррозионно-стойкой азотсодержащей стали с пределом текучести 690 МПа и выше, изготовленной в промышленных условиях, на формирование механических и коррозионных свойств. Показано, что при выбранных технологических режимах производства листового проката сталь имеет аустенитную структуру с высокой плотностью дислокаций и наличием нитридов, равномерно распределенных в объеме зерен, что обеспечивает одновременно высокую прочность и ударную вязкость. Сталь не проявляет склонности к межкристаллитной коррозии и к коррозионному растрескиванию в морской воде, а также обладает высоким сопротивлением к питтинговой коррозии. По совокупности физико-механических свойств новая высокопрочная коррозионно-стойкая сталь, легированная азотом, рекомендуется для широкого использования в различных отраслях промышленности для работы в агрессивных средах и в составе тяжело нагруженных конструкций.

*Ключевые слова:* коррозионно-стойкая азотсодержащая сталь, механические и коррозионные свойства, влияние структуры.

УДК 669.15`26`24`28–194:621.791.052

**Влияние легирования на структуру и свойства зоны термического влияния сварного соединения из высокопрочной хромоникельмолибденовой стали.** Мотовилина Г. Д., Пазилова У. А., Хлусова Е. И. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 54–63.

Исследовано влияние химического состава основного металла и способа сварки на структуру и свойства зоны термического влияния сварного соединения из хромоникельмолибденовых высокопрочных улучшаемых сталей типа АБ с преимущественно бейнитной исходной структурой.

*Ключевые слова:* высокопрочная хромоникельмолибденовая сталь, химический состав основного металла, способ сварки, зона термического влияния.

УДК 669.295:539.538

**Конструкционные и функциональные материалы — основа экономического и научно-технического развития России.** Каблов Е. Н. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 64–67.

Изложены в историческом аспекте результаты творческого содружества коллективов ВИАМ и ЦНИИ КМ «Прометей» в освоении титановых сплавов в промышленности.

*Ключевые слова:* функциональные материалы, титановые сплавы, трубное производство, самолетостроение, исторический аспект.

УДК 669.295:621.74.002.6

**Становление и развитие производства титановых полуфабрикатов для судостроения.** Ушков С. С., Кудрявцев А. С., Карасев Э. А. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 68–78.

Представлены научно-конструкторские, исследовательские и технологические аспекты развития плавки титана и основные этапы создания отечественной промышленной технологии производства слитков и полуфабрикатов из конструкционных титановых сплавов.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, технология производства, основные этапы развития.

УДК 669.15`71–194:621.791–112.81

**Создание сварных сталеалюминиевых корпусных конструкций.** Ушков С. С., Баранов А. В., Павлова В. И., Осокин Е. П. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 79–92.

Создан судостроительный биметалл на основе низколегированной стали марки 10ХСНД (D40) и алюминиевого сплава марки 1561, предназначенный для соединения алюминиевой надстройки со стальным корпусом судна.

На основе новых технических решений по конструктивно-технологическому оформлению сталеалюминиевых соединений разработана технология сварки стыковых, тавровых и нахлесточных соединений биметалла, позволяющая максимально реализовать механические свойства разработанного биметалла в составе судокорпусных конструкций, на 15–20% повысить усталостную прочность сталеалюминиевых узлов, исключить использование дефицитных аустенитных сварочных материалов, на 40–60% снизить трудоемкость выполнения сборочно-сварочных работ, использовать механизированные способы сварки в среде CO<sub>2</sub> взамен аргона, обеспечить непроницаемость стыковых соединений биметалла и коррозионную стойкость сталеалюминиевых соединений на уровне требований, предъявляемых к судокорпусным материалам.

*Ключевые слова:* сталеалюминиевые конструкции, биметаллические переходники, сварные соединения, конструктивно-технологическое оформление, механические свойства.

УДК 669.715`793

**Некоторые аспекты создания современных морских высокопрочных алюминиевых сплавов со скандием.** Рыбин В. В., Андреев Г. Н., Барахтина Н. Н., Осокин Е. П. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 92–102.

В создании новых судостроительных материалов на примере разработки алюминиевых сплавов показана определяющая роль металлургического подхода среди других аспектов научного поиска.

*Ключевые слова:* алюминий-магний сплавы, легирование скандием, упрочнение, рекристаллизация, металлургический подход.

УДК 669.15–194:621.039.536.2:669.046.516

**Основные принципы легирования сталей для корпусов атомных реакторов типа ВВЭР.**  
Морозов А. М., Филимонов Г. Н., Цуканов В. В. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 103–111.

Приведены данные о влиянии примесных элементов, а также никеля и других основных легирующих элементов на сопротивление радиационному охрупчиванию стали композиции Cr–Mo–V. Исследовано влияние термической обработки на сдвиг  $\Delta T_F$ . Сформулированы основные критерии выбора корпусных сталей для различных условий эксплуатации, дана предварительная оценка радиационного ресурса корпусов реакторов.

*Ключевые слова:* атомные реакторы, стали корпусные, принципы легирования, термическая обработка, сопротивление радиационному охрупчиванию прогнозируемый ресурс.

УДК 669.15–194:621.039.524.4

**Разработка и совершенствование радиационно стойких сталей для корпусов водо-водяных атомных реакторов.**  
Карзов Г. П., Николаев В. А., Филимонов Г. Н. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 111–123.

Рассматриваются материаловедческие аспекты создания конструкционных материалов для базовой модели будущих серийных блоков АЭС с более высоким сопротивлением радиационному и тепловому охрупчиванию.

*Ключевые слова:* водо-водяные атомные реакторы, радиационно стойкие стали, сопротивление радиационному и тепловому охрупчиванию.

УДК 669.15–194:621.039.526

**Конструкционные материалы для реакторов на быстрых нейтронах с натриевым и свинцовым теплоносителями.**  
Марков В. Г., Трапезников Ю. М. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 124–132.

Проведен комплекс исследований и разработаны конструкционные материалы, рекомендованные для корпусных конструкций (стали марок 10X18H9, 08X16H11M3) и парогенераторов (сталь марки 10X2M), реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителями.

*Ключевые слова:* конструкционные материалы, реакторы на быстрых нейтронах, корпусные конструкции, натриевый теплоноситель, свинцовый теплоноситель, парогенераторы.

УДК 669.15–194.2:539.431:621.039.5

**Малоцикловая усталость низколегированной теплоустойчивой стали марки 15X2МФА.**  
Карзов Г. П., Тимофеев Б. Т., Чернаенко Т. А. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 133–146.

Впервые обобщены экспериментальные данные о сопротивлении малоцикловой усталости созданной в ЦНИИ КМ «Прометей» почти 50 лет назад стали 15X2МФА и металла ее сварных швов, широко используемой при изготовлении реакторов ВВЭР-440. Данные, полученные на довольно представительном количестве плавок основного металла (21 плавка) и сварных проб (16 проб) и характеризующиеся высокой стабильностью, сравниваются с результатами, полученными по нормативной зависимости ПНАЭ Г-7-002-86.

*Ключевые слова:* низколегированная теплоустойчивая сталь, сопротивление малоцикловой усталости, реакторы ВВЭР-440.

УДК 669.245.018.44

**Разработка жаростойких сплавов для элементов конструкции радиантной части змеевиков высокотемпературных установок нефтесинтеза.** Орыщенко А. С. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 147–159.

Разработаны конструкционные материалы для изготовления радиантных змеевиков, работающих в высокотемпературных установках нефтехимического комплекса в чрезвычайно жестких условиях.

*Ключевые слова:* жаростойкие сплавы, радиантные змеевики, высокотемпературные установки, нефтехимический комплекс.

УДК 669.295:621.039

**Сплавы на основе титана — перспективный материал для атомной энергетики.** Рыбин В. В., Ушков С. С., Кожевников О. А. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 159–168.

Рассмотрены вопросы активированности, радиационной стойкости, порообразования, возможного наводороживания, влияния водорода, радиационных дефектов и совместного их влияния на склонность к охрупчиванию титановых сплавов применительно к условиям эксплуатации водо-водяных АЭУ. Показана перспективность применения малоактивируемых титановых  $\alpha$ -сплавов в качестве конструкционных материалов корпусов реакторов, внутрикорпусных устройств, парогенераторов, теплообменников и других изделий для создания атомных энергетических установок водо-водяного типа с повышенным в 1,5–2 раза ресурсом и высокой экологической безопасностью как в процессе эксплуатации, ремонта и модернизации, так и при захоронении радиоактивных отходов. Демонтаж ЯЭУ из титановых сплавов может быть осуществлен через 3–5 лет после остановки реактора.

*Ключевые слова:* водо-водяные АЭУ, сплавы на основе титана, активированность, радиационная стойкость, порообразование, наводороживание, радиационные дефекты, склонность к охрупчиванию.

УДК 539.21

**Наноматериалы конструкционного и функционального класса.** Рыбин В. В., Кузнецов П. А., Улин И. В., Фармаковский Б. В., Бахарева В. Е. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 169–178.

Сформировано новое направление исследований, связанное с использованием нанотехнологий для получения конструкционных и функциональных материалов с особыми свойствами. Начаты исследования наиболее перспективных наноматериалов каталитического, магнитного и трибологического классов.

*Ключевые слова:* наноматериалы каталитического, магнитного и трибологического классов, реакторы паровой конверсии, антифрикционные углепластики, полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа.

УДК 678.067:539.538

**Антифрикционные углепластики в машиностроении.** Рыбин В. В., Бахарева В. Е., Николаев Г. И., Анисимов А. В. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 178–191.

Обобщены результаты многолетних исследований по созданию и применению антифрикционных базовых углепластиков марок УГЭТ и ФУТ и их модификаций в машиностроении. Решена проблема создания полимерных антифрикционных материалов, обладающих сочетанием высоких триботехнических характеристик, физико-механических и технологических свойств. Материалы имеют прочность, износостойкость, ударостойкость, стабильность размеров на уровне металлов, но в отличие от них способны работать при смазывании водой и агрессивными жидкостями (вода, кислоты, щелочи, масла, гидравлические жидкости) или в экстремальных условиях без смазывания по контртелам из различных материалов (стали, бронзы, титановые сплавы, керамика).

*Ключевые слова:* антифрикционные углепластики, триботехнические характеристики, физико-механические и технологические свойства, агрессивная среда, износостойкость.

УДК 621.793.7

**Управление структурно-фазовым состоянием покрытий на основе  $Al_2O_3$  при напылении методом HVOF.** Орыщенко А. С., Слепнев В. Н., Галеев И. М., Бланк Е. Д.— Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 191–194.

Проведен анализ условий образования различных фаз  $Al_2O_3$  при высокоскоростном напылении газотермических покрытий. Показано влияние фазового состояния покрытий на микромеханические свойства, микротвердость и трещиностойкость покрытий. Исследовано влияние технологических факторов на фазовый состав и микромеханические свойства покрытий, нанесенных методом HVOF.

*Ключевые слова:* оксид алюминия, фазовый состав,  $\alpha-Al_2O_3$ ,  $\gamma-Al_2O_3$ , микротвердость, коэффициент интенсивности напряжений, покрытия HVOF, детонационные покрытия.

УДК 621.791.755

**Теоретический анализ и экспериментальная проверка закономерностей износа двухслойных электродов низкотемпературных плазмотронов.** Виноградов С. Е., Кузнецов В. Е., Орыщенко А. С., Рутберг Ф. Г., Рыбин В. В., Сафронов А. А., Шекалов В. И., Ширяев В. Н. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 195–200.

В результате теоретического анализа получена расчетная зависимость степени износа от соотношения площадей тугоплавкого и электропроводного слоев биметаллических электродов плазмотронов. Зависимость имеет минимум, зависящий от электросопротивления и теплопроводности материалов, составляющих электрод. Экспериментальные исследования электродов в составе плазмотронов подтверждают полученные зависимости. За счет создания двухслойных электродов возможно повышение износостойкости в 1,5–2 раза.

*Ключевые слова:* плазмотроны низкотемпературные, биметаллические электроды, тугоплавкий слой, электропроводный слой, степень износа, расчетная зависимость.

УДК 621.791.04

**Перспективы использования минерально-сырьевой базы Карело-Кольского региона для производства сварочных материалов — электродов и флюсов.** Калинин В. Т., Николаев А. И., Брусницын Ю. Д. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 201–211.

Рассмотрены минеральные продукты из сырья Карело-Кольского региона для использования их в качестве перспективных сварочных материалов. Заметная часть материалов может быть получена из производимых концентратов и полупродуктов, в том числе и из нынешних отходов действующих горно-обогатительных и металлургических предприятий. Установлена возможность химического кондиционирования продуктов по содержанию лимитируемых примесей фосфора и серы. Показаны перспективы использования новой сырьевой базы для организации производства сварочных материалов традиционного и нового составов.

*Ключевые слова:* сварочные материалы, флюсы, минеральные продукты, сырье Карело-Кольского региона, перспективы использования.

УДК 621.791.04:621.039.536.2

**Современные сварочные материалы для сварки и наплавки корпусов реакторов типа ВВЭР.** Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Михалева Э. И., Морозовская И. А., Яковлева Г. П. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 212–219.

Разработаны и промышленно освоены сварочные материалы нового поколения, позволившие повысить пластичность и ударную вязкость антикоррозионной наплавки после максимальных технологических отпусков при сохранении требуемых прочности и коррозионной стойкости.

*Ключевые слова:* корпуса реакторов типа ВВЭР, сварочные материалы нового поколения, антикоррозионная наплавка, повышение пластичности и ударной вязкости.

УДК 621.791:669.35+669.14

**Исследование особенностей и разработка прогрессивных технологий сварки медных сплавов со сталями и наплавки медных сплавов на стали.** Рыбин В. В., Вайнерман А. Е.,

Баранов А. В., Андронов Е. В., Пичужкин С. А. – Вопросы материаловедения, 2006, № 1(46), с. 220–229.

Изучены особенности взаимодействия жидких медных сплавов со сталями в процессе сварки или наплавки. Разработаны новые технологические процессы наплавки медных сплавов на сталь и сварки медных сплавов со сталями без расплавления или с минимальным расплавлением стали, обеспечивающие существенное повышение механических свойств соединений.

*Ключевые слова:* медные сплавы, сталь, сварка, наплавка, технологические процессы, особенности взаимодействия.

УДК 620.197.6

**Разработки в области противокоррозионной защиты металлоконструкций и объектов техники.** Кузьмин Ю. Л., Михайлова М. А., Николаев Г. И., Пирогов В. Д. — Вопросы материаловедения, 2006, № 1(45), с. 230–238.

Приведены результаты исследований в области электрохимической катодной и протекторной защиты и лакокрасочных покрытий.

*Ключевые слова:* металлоконструкции, электрохимическая катодная противокоррозионная защита, протекторная защита, лакокрасочные покрытия.