

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
"ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ"

№ 3(59), 2009

СОДЕРЖАНИЕ

**МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ**

- Горынин И. В., Малышевский В. А., Калинин Г. Ю., Мушникова С. Ю., Банных О. А., Блинов В. М., Костина М. В. Коррозионно-стойкие высокопрочные азотистые стали ..... 7
- Орыщенко А. С., Уткин Ю. А. Влияние изменения микроструктуры при температурах 800–1100°С на характеристики жаропрочности сплава 45Х26Н33С2Б2..... 17
- Счастливец В. М., Табатчикова Т. И., Яковлева И. Л., Круглова А. А., Хлусова Е. И., Орлов В. В. Особенности структуры бейнита в низкоуглеродистых свариваемых сталях после термомеханической обработки ..... 26
- Карзов Г. П., Теплухина И. В., Голод В. М., Гюлиханданов Е. Л. Применение компьютерного моделирования для прогнозирования структурообразования и свойств при проведении закалки крупногабаритных поковок из реакторных сталей..... 39
- Малахов Н. В., Мотовилина Г. Д., Хлусова Е. И., Казаков А. А. Структурная неоднородность и методы ее снижения для повышения качества конструкционных сталей. .... 52
- Коджаспиров Г. Е., Хлусова Е. И., Орлов В. В. Физическое моделирование процессов термомеханической обработки и управление структурой конструкционной стали..... 65
- Дурынин В. А., Цуканов В. В. Усовершенствование режимов предварительной термической обработки поковок из теплоустойчивых сталей композиций Cr–4Ni–Mo–V и Cr–Mo–V и рекомендации по окончательной термообработке ..... 85
- Ушков С. С., Кудрявцев А. С., Карасев Э. А., Береславский А. Л., Мачишина Л. А. Металлургические аспекты технологии производства крупногабаритных слитков титановых сплавов..... 96

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

- Горынин И. В., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. Хладостойкие стали для технических средств освоения арктического шельфа ..... 108
- Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И., Орлов В. В., Шахпазов Е. Х., Морозов Ю. Д., Настич С. Ю., Матросов М. Ю. Высокопрочные стали для магистральных трубопроводов ..... 127
- Рыбин В. В., Карзов Г. П., Курсевич И. П., Лапин А. Н., Смирнов В. И., Теплухина И. В., Щербинина Н. Б. Создание свариваемой стали с ускоренным спадом наведенной радиоактивности для корпусов реакторов повышенного ресурса и экологической безопасности ..... 138
- Иванова Л. А., Козлова И. Р., Кудрявцев А. С., Чудаков Е. В. Исследование жаропрочности свариваемых титановых сплавов марок 5В и 37 применительно к изделиям энергомашиностроения..... 152
- Кудрявцев А. С., Молчанова Н. Ф., Травин В. В. Высокопрочные свариваемые литейные титановые сплавы для энергетического оборудования ..... 162
- Ушков С. С., Кожевников О. А. Опыт применения и значение титановых сплавов для развития атомной энергетики России..... 172

**НАНОСТРУКТУРНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

- Рудской А. И., Коджаспиров Г. Е. Перспективные технологии изготовления листа с субмикроструктурной и наноструктурой..... 188
- Рыбин В. В., Кучкин В. В., Рыбин Ю. И., Паршиков Р. А. Фрагментация металлов при интенсивной пластической деформации и особенности пластического течения в условиях равноканального углового прессования..... 193

Кузнецов П. А., Фармаковский Б. В., Толочко О. В., Аскинази А. Ю., Васильева О. В., Песков Т. В. Исследования и разработки в области применения аморфных магнитомягких сплавов для создания магнитных экранов..... 204

Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Рыбин В. В., Савёлов А. С. Модификация химического состава и степени гетерогенности полимерной матрицы и углеродных армирующих материалов с целью оптимизации триботехнических характеристик антифрикционных углепластиков..... 217

Рыбин В. В., Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Савёлов А. С. Нано- и микромодификаторы антифрикционных углепластиков ..... 229

## **КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ**

Евченко В. И., Башаев В. К., Ильин А. В., Леонов В. П., Филин В. Ю., Щеголева Е. Г. Проблемы аттестации и расчетного обоснования требований к сварным соединениям высокопрочных стальных конструкций для работы на шельфе Арктики ..... 242

Карзов Г. П., Марголин Б. З., Швецова В. А., Костылев В. И. Оценка сопротивления хрупкому разрушению корпусов атомных реакторов типа ВВЭР: проблемы и современные подходы. .... 263

Марголин Б. З., Швецова В. А., Карзов Г. П., Гуленко А. Г., Костылев В. И., Нестерова Е. В. Развитие и применение локального Prometey-подхода для прогнозирования хрупкого разрушения корпусных реакторных сталей..... 290

Карзов Г. П., Каштанов А. Д., Марков В. Г. Коррозионно-механическая прочность сталей с  $\gamma$ - и  $\alpha$ -решеткой в контакте с жидкометаллическим теплоносителем на основе свинца. .... 315

Иванова Л. А., Кузнецов С. В., Межонов В. И., Пась О. А., Хатунцев А. Н. Исследования механических характеристик псевдо- $\square$ -сплавов титана и их сварных соединений в диапазоне температур от 20 до 500°С..... 329

Кудрявцев А. С., Паноцкий Д. А. Влияние термической обработки для снятия остаточных сварочных напряжений на характеристики работоспособности основного металла титанового сплава 5В ..... 344

Кудрявцев А. С., Чудаков Е. В. Влияние кристаллографической текстуры на анизотропию механических свойств листовых полуфабрикатов из титановых сплавов..... 351

## **СВАРКА. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Варовин А. Я., Литвинов С. Г., Михалева Э. И., Костылев В. И., Воронов А. В., Степаненков Н. И., Беляев Н. В. Автоматическая сварка под слоем флюса элементов конструкций сверхбольшой толщины ..... 357

Рыбин В. В., Семенов В. А., Сидоров И. И., Гринберг Б. А., Пацелов А. М., Антонова О. В., Елкина О. А., Карькина Л. Е., Иноземцев А. В., Салищев Г. А., Иванов М. А. Биметаллическое соединение орторомбического алюминид титана с титановым сплавом (диффузионная сварка, сварка взрывом). .... 372

Иванова Л. А., Кузнецов С. В., Михайлов В. И., Пась О. А., Сахаров И. Ю., Хатунцев А. Н. Свариваемость высокопрочных титановых псевдо- $\square$ -сплавов..... 387

Николаев А. И., Печенюк С. И., Семушина Ю. П., Семушин В. В., Кузьмич Л. Ф., Рогачев Д. Л., Михайлова Н. Л., Брусницын Ю. Д., Рыбин В. В. Взаимодействие компонентов электродных покрытий с жидким стеклом при нагревании ..... 397

Калинников В. Т., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Николаев А. И., Брусницын Ю. Д., Авакумов Ю. В. Перспективы использования минерального и техногенного сырья Мурманской области для производства сварочных материалов и флюсов..... 404

**Рефераты публикуемых статей**..... 415

**Авторский указатель** ..... 429

**Информация о подписке** ..... 432

**Лицензионный договор о предоставлении права на использование статьи**..... 433

**Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Рекомендации** ..... 435

## РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 669.15'786–194.56:620.193

**Коррозионно-стойкие высокопрочные азотистые стали.** Горынин И. В., Малышевский В. А., Калинин Г. Ю., Мушникова С. Ю., Банных О. А., Блинов В. М., Костина М. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 7–16.

Исследовано влияние легирующих элементов (азота, хрома, марганца, никеля, молибдена, углерода, ванадия и ниобия) и режимов горячей деформации и термической обработки на структуру, механические свойства и стойкость сталей к питтинговой коррозии в водных растворах хлоридов. Итогом проведенных исследований явилась разработка новых коррозионно-стойких азотсодержащих аустенитных сталей повышенной прочности для судостроения.

*Ключевые слова:* стали азотсодержащие аустенитные, легирующие элементы, горячая деформация, термическая обработка, структура, механические свойства, стойкость к питтинговой коррозии.

УДК 669.018.44

**Влияние изменения микроструктуры при температурах 800–1100°C на характеристики жаропрочности сплава 45X26H33C2B2.** Орыщенко А. С., Уткин Ю. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 17–25.

Исследовано влияние изменения структурного состояния металла центробежно-литой трубы из сплава 45X26H33C2B2 после изотермических выдержек при температурах 800–1100°C на характеристики жаропрочности и кратковременные механические свойства.

*Ключевые слова:* сплав марки 45X26H33C2B2, центробежно-литая труба, структурное состояние, изотермические выдержки, жаропрочность.

УДК 669.15–194.2:621.78:621.771.23

**Особенности структуры бейнита в низкоуглеродистых свариваемых сталях после термомеханической обработки.** Счастливец В. М., Табатчикова Т. И., Яковлева И. Л., Круглова А. А., Хлусова Е. И., Орлов В. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 26–38.

Рассмотрены структурные особенности бейнита – размер кристаллов, их взаимная ориентация, наличие выделений карбидов цементитного типа – в низкоуглеродистых низколегированных сталях. Показано влияние размера аустенитного зерна и горячей пластической деформации на происходящее при последующем охлаждении бейнитное превращение. Исследованы особенности структуры бейнита в листовом прокате толщиной от 24 до 40 мм из низкоуглеродистых низколегированных сталей после термомеханической обработки в промышленных условиях. Указаны структурные факторы, влияющие на механические свойства.

*Ключевые слова:* низкоуглеродистые низколегированные стали, листовый прокат, структура бейнита, механические свойства.

УДК 669.15–194:621.039.536.2:621.73:681.3

**Применение компьютерного моделирования для прогнозирования структурообразования и свойств при проведении закалки крупногабаритных поковок из реакторных сталей.** Карзов Г. П., Теплухина И. В., Голод В. М., Гюлиханданов Е. Л. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 39–51.

Разработана технология изготовления крупногабаритных кованных поковок сложной формы с применением компьютерного моделирования для надежного прогнозирования структуры и свойств по сечению изделия, оптимизации формы закаливаемой заготовки, а также обоснования правильности отбора проб для механических испытаний при проектировании технологических процессов (в том числе и процессов термической обработки).

*Ключевые слова:* реакторные стали, крупногабаритные кованные поковки, компьютерное моделирование.

УДК 669.14.018.29

**Структурная неоднородность и методы ее снижения для повышения качества конструкционных сталей.** Малахов Н. В., Мотовилина Г. Д., Хлусова Е. И., Казаков А. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 52–64.

Исследованы причины снижения уровня механических свойств и характеристик работоспособности низкоуглеродистых низколегированных сталей и разработаны методы устранения этих причин.

*Ключевые слова:* низкоуглеродистая низколегированная сталь, характеристики работоспособности, структурная неоднородность, методы повышения качества.

УДК 669.14.018.29:621.78

**Физическое моделирование процессов термомеханической обработки и управление структурой конструкционной стали.** Коджаспиров Г. Е., Хлусова Е. И., Орлов В. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 65–84.

Анализируются современные методы, основанные на использовании физических процессов моделирования термомеханической обработки, и обосновывается выбор дальнейших направлений исследований.

*Ключевые слова:* конструкционная сталь, структура, термомеханическая обработка, физическое моделирование.

УДК 669.14.018.44:621.78

**Усовершенствование режимов предварительной термической обработки поковок из теплоустойчивых сталей композиций Cr–4Ni–Mo–V и Cr–Mo–V и рекомендации по окончательной термообработке.** Дурынин В. А., Цуканов В. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 85–95.

Рассмотрены основные влияющие на структурообразование теплоустойчивых сталей композиций Cr–4Ni–Mo–V и Cr–Mo–V факторы, от которых зависит получение требуемого комплекса свойств поковок после термической обработки. Разработаны рекомендации с учетом склонности сталей к структурной наследственности.

*Ключевые слова:* теплоустойчивые стали, структурообразование, термическая обработка, структурная наследственность.

УДК 669.295–412

**Металлургические аспекты технологии производства крупногабаритных слитков титановых сплавов.** Ушков С. С., Кудрявцев А. С., Карасев Э. А., Береславский А. Л., Мачишина Л. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 96–107.

Рассмотрены металлургические аспекты производства крупногабаритных слитков (Ø1000–1200 мм) – технология выплавки, особенности процесса кристаллизации, формирование и морфология фронта кристаллизации – и их влияние на однородность структуры и химического состава металла.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, крупногабаритные слитки, металлургические аспекты производства

УДК 669.14.018.41

**Хладостойкие стали для технических средств освоения арктического шельфа.** Горынин И. В., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 108–126.

Представлены основные достижения и научные результаты, полученные при создании серии экономичных конкурентоспособных сталей различной прочности с улучшенными в несколько раз по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами характеристиками хладостойкости, качества и технологичности при сварке, а также малозатратных технологий их производства для морской техники, эксплуатирующейся в экстремальных условиях арктического региона – при предельно низких температурах, воздействии статических, динамических и циклических нагрузений, коррозионной среды.

*Ключевые слова:* стали для морской техники, хладостойкость, технологичность при сварке, основные достижения, научные результаты.

УДК 669.14.018.295:621.643

**Высокопрочные стали для магистральных трубопроводов.** Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И., Орлов В. В., Шахпазов Е. Х., Морозов Ю. Д., Настич С. Ю., Матросов М. Ю. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 127–137.

Работа посвящена актуальному вопросу создания легкосвариваемых высокопрочных сталей для изготовления сварных труб с повышенными характеристиками прочности, вязкости и хладостойкости.

*Ключевые слова:* магистральные трубопроводы, сварные трубы, легкосвариваемые высокопрочные стали, прочность, вязкость, хладостойкость.

УДК 669.15–194:621.039.536.2

**Создание свариваемой стали с ускоренным спадом наведенной радиоактивности для корпусов реакторов повышенного ресурса и экологической безопасности.** Рыбин В. В., Карзов Г. П., Курсевич И. П., Лапин А. Н., Смирнов В. И., Теплухина И. В., Щербинина Н. Б. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 138–151.

Разработана на базе применяемых в настоящее время сталей типа 15Х2МФА(А) сталь марки 15Х2В2ФА-А, обеспечивающая в ~100 раз более низкий уровень наведенной активности после 50-летней выдержки по сравнению с используемыми в настоящее время в атомном энергетическом машиностроении материалами.

*Ключевые слова:* корпуса реакторов, свариваемая сталь с ускоренным спадом наведенной радиоактивности, повышенный ресурс и экологическая безопасность.

УДК 669.295.018.44

**Исследование жаропрочности свариваемых титановых сплавов марок 5В и 37 применительно к изделиям энергомашиностроения.** Иванова Л. А., Козлова И. Р., Кудрявцев А. С., Чудаков Е. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 152–161.

Исследованы механические свойства и характеристики ползучести при температурах до 500°С морских титановых сплавов 5В и 37 применительно к изделиям энергомашиностроения с ограниченным ресурсом эксплуатации.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, механические свойства, ползучесть, жаропрочность, изделия энергомашиностроения.

УДК 669.295.018.28:621.311

**Высокопрочные свариваемые литейные титановые сплавы для энергетического оборудования.** Кудрявцев А. С., Молчанова Н. Ф., Травин В. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 162–171.

На основе анализа статистических данных о служебных характеристиках деформируемых титановых псевдо- $\alpha$ -сплавов 5ВЛ и 37Л обоснована возможность использования литейных титановых сплавов в энергетическом оборудовании

*Ключевые слова:* энергетическое оборудование, деформируемые титановые псевдо- $\alpha$ -сплавы, о служебные характеристики, статистические данные.

УДК 669.295:621.039.524.4

**Опыт применения и значение титановых сплавов для развития атомной энергетики России.** Ушков С. С., Кожевников О. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 172–187.

Рассмотрено значение титановых сплавов для становления и развития атомной энергетики России. В связи с возросшими требованиями отмечены принципиально слабые стороны конструкционных материалов различного класса, используемых в настоящее время в водородных реакторах. Показаны основные преимущества и перспективы применения нового для реакторостроения класса материалов – титановых  $\alpha$ -сплавов, способных обеспечить высокую радиационную и экологическую безопасность эксплуатации нового поколения водородных АЭУ повышенного ресурса, различной мощности и назначения. Определены основные области применения титановых  $\alpha$ -сплавов в составе перспективных АЭУ.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, реакторостроение, водо-водяные реакторы, перспективы применения.

УДК 669.14–41:539.2:621.771.23

**Перспективные технологии изготовления листа с субмикроструктурной и наноструктурой.** Рудской А. И., Коджаспиров Г. Е. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 188–192.

Описаны последние достижения и перспективы получения субмикроструктурных и наноструктур при изготовлении стального листа. Особое внимание уделено оригинальному методу многоэтапной пакетной прокатки (МПП), основанному на применении интенсивной пластической деформации в режимах термомеханической обработки.

*Ключевые слова:* стальной лист, многоэтапная пакетная прокатка, субмикроструктурная структура, наноструктура.

УДК 621.77.016.2

**Фрагментация металлов при интенсивной пластической деформации и особенности пластического течения в условиях равноканального углового прессования.** Рыбин В. В., Кучкин В. В., Рыбин Ю. И., Паршиков Р. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 193–203.

Равноканальное угловое прессование рассмотрено с позиций формирования развитых фрагментированных структур с большеугловыми границами. Предложена идеализированная модель для описания напряженно-деформированного состояния при РКУП. Методом конечных элементов выполнен анализ реальной картины течения металла при РКУП упругопластической заготовки с учетом контактного трения и углов пересечения каналов. Получены численные значения влияния контактного трения и углов пересечения каналов на формирование неоднородности деформированного состояния.

*Ключевые слова:* развитые фрагментированные структуры с большеугловыми границами, равноканальное угловое прессование, напряженно-деформированное состояние.

УДК 621.318.13:537.612

**Исследования и разработки в области применения аморфных магнитомягких сплавов для создания магнитных экранов.** Кузнецов П. А., Фармаковский Б. В., Толочко О. В., Аскинази А. Ю., Васильева О. В., Песков Т. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 204–216.

Представлены результаты исследований и разработок в области применения аморфных магнитомягких сплавов для создания магнитных экранов для защиты от постоянных и переменных магнитных полей, выполненные авторским коллективом за последние 10 лет.

Показано, что магнитные экраны из аморфных магнитомягких сплавов на основе Со, прошедших соответствующую термообработку для повышения исходных магнитных свойств, могут быть эффективнее магнитных экранов из пермаллоев. Разработана и запатентована конструкция магнитного экрана на основе лент из аморфных сплавов. Приведены примеры практической реализации выполненных исследований и разработок.

*Ключевые слова:* аморфные магнитомягкие сплавы на основе кобальта, магнитные экраны, эффективность защиты от постоянных и переменных магнитных полей.

УДК 678.067:539.538

**Модификация химического состава и степени гетерогенности полимерной матрицы и углеродных армирующих материалов с целью оптимизации триботехнических характеристик антифрикционных углепластиков.** Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Рыбин В. В., Савёлов А. С. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 217–228.

Сделана попытка разработать способы модификации химического состава и степени гетерогенности полимерной матрицы и углеродных волокон на молекулярном и наноуровнях.

*Ключевые слова:* антифрикционные углепластики, модифицирование на нано- и микроуровнях, триботехнические характеристики углеродные армирующие материалы, полимерная матрица, гетерогенность.

УДК 678.067:539.538

**Нано- и микромодификаторы антифрикционных углепластиков.** Рыбин В. В., Бахарева В. Е., Анисимов А. В., Савёлов А. С. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 229–241.

Рассмотрены конкретные примеры модифицирования антифрикционных углепластиков на нано- и микроуровнях, дан анализ ее влияния на триботехнические характеристики углепластиков.

*Ключевые слова:* антифрикционные углепластики, модифицирование на нано- и микроуровнях, триботехнические характеристики.

УДК 669.14.018.41:621.791–112.81

**Проблемы аттестации и расчетного обоснования требований к сварным соединениям высокопрочных стальных конструкций для работы на шельфе Арктики.** Евенко В. И., Башаев В. К., Ильин А. В., Леонов В. П., Филин В. Ю., Щеголева Е. Г. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 242–262.

Обсуждаются проблемы, возникающие при аттестации высокопрочных хладостойких материалов для конструкций, работающих на арктическом шельфе России. Представлены методические особенности проведения дополнительных испытаний, обоснования критериев оценки качества, а также проблемные моменты испытаний и интерпретации их результатов, требующие дальнейших разработок.

*Ключевые слова:* высокопрочные стальные конструкции, сварные соединения, аттестация и расчетное обоснование требований, критерии оценки качества.

УДК 621.039.524.4:539.422.22

**Оценка сопротивления хрупкому разрушению корпусов атомных реакторов типа ВВЭР: проблемы и современные подходы.** Карзов Г. П., Марголин Б. З., Швецова В. А., Костылев В. И. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 263–289.

Рассмотрены новые подходы для оценки целостности корпуса реактора по критерию сопротивления хрупкому разрушению, которые позволяют учесть физический и механический аспекты масштабного фактора; обеспечить переносимость результатов, полученных при испытании образцов-свидетелей на вязкость разрушения, на расчетный дефект в корпусе реактора; учесть неоднородность распределения коэффициента интенсивности напряжений вдоль фронта расчетного дефекта, а также двухосность и немонотонность нагружения корпуса реактора.

*Ключевые слова:* корпуса атомных реакторов типа ВВЭР, сопротивление хрупкому разрушению, проблемы и современные подходы.

УДК 669.15–194:621.039.536.2:539.422.22

**Развитие и применение локального Prometey-подхода для прогнозирования хрупкого разрушения корпусных реакторных сталей.** Марголин Б. З., Швецова В. А., Карзов Г. П., Гуленко А. Г., Костылев В. И., Нестерова Е. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 290–314.

Представлен локальный Prometey-подход в его развитии от локального критерия хрупкого разрушения к инженерным приложениям. Кратко рассмотрено использование локального Prometey-подхода для прогнозирования трещиностойкости корпусных реакторных сталей, включая влияние коротких трещин, а также связь физических механизмов радиационного повреждения с физическими механизмами зарождения и распространения микротрещин скола.

*Ключевые слова:* корпусные реакторные стали, локальный критерий хрупкого разрушения, Prometey-подход, прогнозирование трещиностойкости.

УДК 669.15–194:621.039.526.034.6:669.4

**Коррозионно-механическая прочность сталей с  $\gamma$ - и  $\alpha$ -решеткой в контакте с жидкометаллическим теплоносителем на основе свинца.** Карзов Г. П., Каштанов А. Д., Марков В. Г. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 315–328.

Исследовано поведение сталей в контакте с жидким свинцом, который используется как теплоноситель в реакторах на быстрых нейтронах, в процессе кратковременного и длительного статического нагружения и малоциклового нагружения.

*Ключевые слова:* реактор на быстрых нейтронах, теплоноситель на основе свинца, стали с  $\gamma$ - и  $\alpha$ -решеткой, коррозионно-механическая прочность.

УДК 669.295:621.791.052:620.178.3

**Исследования механических характеристик псевдо- $\alpha$ -сплавов титана и их сварных соединений в диапазоне температур от 20 до 500°C.** Иванова Л. А., Кузнецов С. В., Межонов В., И., Пась О. А., Хатунцев А. Н. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 329–343.

Сварные соединения псевдо- $\alpha$ -сплавов титана 5В и 37 в диапазоне температур от 20 до 500°C при кратковременном и длительном статическом нагружении равнопрочны основному металлу, если шов сформирован либо переплавлением основного металла, либо с применением присадочной проволоки ВТ6св. Исходная прочность деформируемых полуфабрикатов из этих сплавов, как и сварные соединения из них, не изменяются после предварительного циклического и длительного статического нагружений при комнатной и повышенных температурах, несколько теряя в пластичности.

*Ключевые слова:* псевдо- $\alpha$ -сплавы титана, кратковременное и длительное статическое нагружение, механические свойства.

УДК 669.295:621.78

**Влияние термической обработки для снятия остаточных сварочных напряжений на характеристики работоспособности основного металла титанового сплава 5В.** Кудрявцев А. С., Паноцкий Д. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 344–350.

Представлены результаты исследования металла цельнокатаного кольца и проката, изготовленного на ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», влияния термической обработки на характеристики работоспособности материала из сплава марки 5В и пути их повышения.

*Ключевые слова:* титановый сплав 5В, цельнокатаное кольцо, прокат, характеристики работоспособности.

УДК 669.295:621.771.23

**Влияние кристаллографической текстуры на анизотропию механических свойств листовых полуфабрикатов из титановых сплавов.** Кудрявцев А. С., Чудаков Е. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 351–356.

Исследовано влияние кристаллографической текстуры на анизотропию механических свойств псевдо- $\alpha$ -сплава титана системы Ti–Al–V–Mo. Установлено, что каждому типу текстуры соответствует определенный характер распределения механических свойств в плоскости листового полуфабриката. Показано, что на основе проведения ряда испытаний с определением стандартных и специальных характеристик и в результате анализа вида разрушения образцов можно достаточно достоверно оценить тип кристаллографической текстуры листового полуфабриката. При этом достаточно выполнить испытания в трех направлениях листа под углами 0, 45 и 90° к направлению прокатки.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, кристаллографическая текстура, листовый полуфабрикат, механические свойства.

УДК 621.791.75–112.81:621.771.06–413

**Автоматическая сварка под слоем флюса элементов конструкций сверхбольшой толщины.** Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Варовин А. Я., Литвинов С. Г., Михалева Э. И., Костылев В. И., Воронов А. В., Степаненков Н. И., Беляев Н. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 357–371.

Изложены технологические разработки и результаты расчетно-экспериментальных исследований в обоснование принятой технологии и прочности сварных соединений из стали 08ГДНФЛ при изготовлении станины прокатного стана 5000 толщиной 1330 мм с использованием автоматической сварки под слоем флюса.

*Ключевые слова:* прокатный стан, станина, автоматическая сварка под слоем флюса, сверхбольшая толщина, прочность сварных соединений.

УДК 669.71'295–419.4:621.791.1

**Биметаллическое соединение орторомбического алюминид титана с титановым сплавом (диффузионная сварка, сварка взрывом).** Рыбин В. В., Семенов В. А., Сидоров И. И., Гринберг Б. А., Пацелов А. М., Антонова О. В., Елкина О. А., Карькина Л. Е., Иноземцев А. В., Салищев Г. А., Иванов М. А. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 372–386.

Получены биметаллические соединения орторомбического алюминид титана (Ti–30Al–16Nb–1Zr–1Mo) с титановым сплавом (Ti–7,7Al–1,8V) посредством диффузионной сварки и с технически чистым титаном посредством сварки взрывом. Для каждого вида сварки выявлен многослойный характер структуры сварного соединения, идентифицированы фазы, образующие слои. После диффузионной сварки алюминид оказался превращенным в разупорядоченную ОЦК-фазу. С обеих сторон от контактной поверхности возникают соответствующие ОЦК-фазы. При сварке взрывом соединение представляет собой сильно деформированную область, наблюдаемую в обоих материалах; рекристаллизованную зону титана; переходную зону вблизи границы раздела. Обнаружено, что при сварке взрывом в переходной зоне могут происходить процессы расплавления с последующим перемешиванием (в зоне «вихрей») и перенос частиц одного металла в другой с образованием треков частиц (вне зоны «вихрей»).

*Ключевые слова:* орторомбический алюминид титана, титановый сплав, биметаллические соединения, диффузионная сварка, сварка взрывом, структура сварного соединения, фрагментация, треки, волнообразование, вихри.

УДК 669.295:621.791.011

**Свариваемость высокопрочных титановых псевдо- $\alpha$ -сплавов.** Иванова Л. А., Кузнецов С. В., Михайлов В. И., Пась О. А., Сахаров И. Ю., Хатунцев А. Н. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 387–396.

Свариваемость высокопрочных титановых псевдо- $\alpha$ -сплавов зависит от предела текучести и технологии производства полуфабрикатов. Деформируемые полуфабрикаты сохраняют хорошую свариваемость при пределе текучести до 900 МПа. Литейные сплавы обеспечивают сварочные свойства при меньших значениях предела текучести и требуют для сохранения высокого качества сварно-литых конструкций максимальных скоростей охлаждения при сварке и термической обработки.

*Ключевые слова:* титановых псевдо- $\alpha$ -сплавов, свариваемость, режим сварки, режим термической обработки, качество сварно-литых конструкций.

УДК 621.791.042.4:621.78

**Взаимодействие компонентов электродных покрытий с жидким стеклом при нагревании.** Николаев А. И., Печенюк С. И., Семушина Ю. П., Семушин В. В., Кузьмич Л. Ф., Рогачев Д. Л., Михайлова Н. Л., Брусницын Ю. Д., Рыбин В. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 397–403.

С использованием методов термического и рентгенофазового анализов определены характеристики и фазовый состав базовых смесей компонентов покрытий сварочных электродов, содержащих мрамор, рутил, кварцевый песок, глинозем, флюорит, ксерогель гидроксида железа (III), и на их основе паст с жидким стеклом при взаимодействии компонентов смеси при комнатной температуре и после прокалки при 300, 800 и 980°C. Настоящие исследования позволяют проследить за устойчивостью гидроксидов при прокаливании смеси компонентов и образованием новых фаз, что следует учитывать на практике для повышения качества электродов.

*Ключевые слова:* электродные покрытия, базовые смеси компонентов, жидкое стекло, термический и рентгенофазовый анализы.

УДК 621.791.04:553.3

**Перспективы использования минерального и техногенного сырья Мурманской области для производства сварочных материалов и флюсов.** Калинин В. Т., Рыбин В. В., Малышевский В. А., Николаев А. И., Брусницын Ю. Д., Аввакумов Ю. В. – Вопросы материаловедения, 2009, № 3 (59), с. 404–414.

На основе новых подходов разработаны промышленные технологии обогащения минерального сырья, получения и подготовки к использованию комплексных и композиционных компонентов в производстве сварочных материалов.

*Ключевые слова:* минеральное и техногенное сырье, сварочные материалы и флюсы, обогащение, новые подходы.