

Наименование института: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук
(ИПСМ РАН)**

Отчет по основной референтной группе 17 Технологии материалов, металлургия

Дата формирования отчета: **19.05.2017**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Инфраструктура научной организации

1. Профиль деятельности согласно перечню, утвержденному протоколом заседания Межведомственной комиссии по оценке результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения от 19 января 2016 г. № ДЛ-2/14пр

«Генерация знаний». Организация преимущественно ориентирована на получение новых знаний. Характеризуется высоким уровнем публикационной активности, в т.ч. в ведущих мировых журналах. Исследования и разработки, связанные с получением прикладных результатов и их практическим применением, занимают незначительную часть, что отражается в относительно невысоких показателях по созданию РИД и небольших объемах доходов от оказания научно-технических услуг. (1)

2. Информация о структурных подразделениях научной организации

Лаборатория 04 «Наноматериалы и нанотехнологии»

Области научной специализации лаборатории:

Исследования материалов, включая наноматериалы, для (А) функционального и (Б) конструкционного применения, а также (С) разработка научных основ технологий и методов обработки их.

А1) Исследование эмиссионных свойства наноматериалов, полученных деформационными методами.

А2) Исследование объемных конфигураций графена (морщин, складок и их переходных областей в графеновых нанолентах, объемных материалов из смятого графена различной дисперсности, скрученных конфигураций одиночных и объединенных нанолент графена) и их поведения при приложении внешних воздействий.

А3) Исследование структуры и физических свойств быстрозакаленных аморфных сплавов на основе никеля, предварительно подвергнутых интенсивной пластической деформации.

Б1) Атомистическое компьютерное моделирование деформации и разрушения наноразмерных пленок и волокон интерметаллидов NiAl и FeAl.



Б2) Разработка методов термомеханической обработки низкоуглеродных сталей с повышенными характеристиками прочности и ударной вязкости.

С1) Разработка научных основ технологии создания многоострийных полевых эмиссионных катодов из наноматериалов с помощью ионно-лучевого распыления.

С2) Разработка методов модификации структуры и механических свойств ультрамелкозернистых материалов ультразвуковой обработкой.

С3) Разработка физических основ технологии создания постоянных магнитов с высокими магнитными и механическими характеристиками на основе сплава Fe-Cr-Co с использованием методов интенсивной пластической деформации и сварки давлением.

С4) Разработка научных основ технологии получения металлматричных композитов, армированных углеродными нанотрубками, с использованием методов интенсивной пластической деформации.

С5) Разработка научных основ технологии обработки высокопрочной, мартенситно-старееющей, коррозионностойкой стали, обеспечивающей получение высоких механических характеристик и магнитных свойств.

Лаборатория 05 «Материаловедение мелкозернистых металлов и сплавов»

Области научной специализации лаборатории:

1) Исследования закономерностей формирования ультрамелкозернистой структуры в титановых, медных сплавах, сталях и интерметаллидных сплавах при больших пластических деформациях, а также механического поведения этих материалов с ультрамелкозернистой структурой, в том числе в условиях сверхпластичности.

2) Изучение структурных и фазовых превращений, сопровождающих большие пластические деформации, в зависимости от типа решетки, химического и фазового составов; влияние размера зерен на закономерности деформационного упрочнения материалов; механизмы пластического течения при холодной и горячей деформации, в том числе в условиях сверхпластичности.

3) Разработка научных основ технологии получения объемных ультрамелкозернистых материалов методом всесторонней изотермическойковки, создание универсального алгоритма.

Лаборатория 07 «Материаловедение труднодеформируемых сплавов»

Области научной специализации лаборатории:

1) Разработка легких жаропрочных интерметаллидных сплавов на основе алюминидов титана и создание научных основ технологий их формообразования для изготовления сложнопрофильных деталей, предназначенных для применения в авиационном двигателестроении.

2) Разработка научных основ технологий формообразования и оборудования для изготовления осесимметричных изделий ответственного назначения из жаропрочных сплавов и сталей для применения в авиационном/двигателестроении.



3) Исследование микроструктуры и механических свойств жаропрочных никелевых сплавов, а также разработка методов их деформационной обработки, обеспечивающих улучшение механических свойств.

4) Разработка физических методов создания высокотемпературных сверхпроводников с высокой токонесущей способностью, основанных на использовании горячей деформации и управлении рекристаллизационными процессами.

5) Разработка новых композиционных материалов и высоколегированных сплавов на основе титана, а также методов их обработки, обеспечивающих существенное улучшение механических свойств в широком диапазоне температур.

6) Развитие методов получения качественных соединений из разнородных сплавов с помощью сварки давлением.

7) Разработка сверхжаропрочных материалов на основе силицидов тугоплавких металлов и исследование их микроструктуры и механических свойств.

8) Изучение микроструктуры и свойств материалов, полученных селективным лазерным плавлением, применительно к жаропрочным сплавам.

Лаборатория 08 «Материаловедение и технология легких сплавов»

Области научной специализации лаборатории:

1) Исследование механизмов и кинетики динамической рекристаллизации, механизмов и феноменологии сверхпластической деформации в легких алюминиевых и магниевых сплавах; разработка различных деформационно-термических методов измельчения их микроструктуры.

2) Получение ультрамелкозернистых алюминиевых и магниевых сплавов, изучение их физико-механических свойств, разработка основ технологических процессов сверхпластической формовки и объемной штамповки сложнопрофильных изделий с регламентированной структурой и комплексом свойств.

3) Разработка новых физических представлений о влиянии размера зерен на прочность, трещиностойкость, пластичность и сверхпластичность легких алюминиевых и магниевых сплавов, физических моделей измельчения их зерен до нано размеров.

4) Разработка процессов получения из ряда промышленных алюминиевых и магниевых сплавов объемных/листовых ультрамелкозернистых полуфабрикатов, характеризующихся уникальным комплексом механических свойств: повышенной прочностью, пластичностью, вязкостью разрушения, коррозионной стойкостью и сопротивлением усталости при комнатной температуре, сверхпластическим поведением при повышенных температурах и высоких скоростях деформации.

Лаборатория 09 «Нелинейная физика и механика материалов»

Области научной специализации лаборатории:

1) Молекулярно-динамическое моделирование структуры границ зерен в ультрамелкозернистых материалах, их взаимодействия с дислокациями, сегрегации примесных атомов, отклика на различные внешние воздействия (деформацию, отжиг и т.д.).



2) Моделирование структурных изменений в наноструктурных металлах при ультразвуковой обработке методами дислокационной и молекулярной динамики.

3) Исследование нелинейных локализованных колебательных мод в кристаллах.

4) Моделирование структуры углеродных наноматериалов (графена, нанотрубок, фуллеренов, объемных материалов на их основе) и их модификации при упругой деформации.

5) Исследование эволюции структур, фазового состава и механических свойств металлов при интенсивной пластической деформации.

6) Исследование антифрикционных материалов и покрытий, полученных методами электроосаждения и деформационно-термической обработки.

Лаборатория 10 «Сверхпластическая обработка перспективных материалов»

Области научной специализации лаборатории:

1) Физическое и расчетное моделирование формообразования металлических материалов с использованием эффекта сверхпластичности при изготовлении легких и прочных конструкций.

2) Исследование качества материала полых конструкций, полученных сверхпластической обработкой, включая физические, механические и эксплуатационные свойства, традиционными и неразрушающими методами диагностики.

3) Изучение природы формирования твердофазного соединения при сварке давлением однородных и разнородных материалов с использованием сверхпластичности.

4) Разработка научных принципов создания интегральных технологий изготовления полых и многослойных конструкций на основе совмещения сверхпластической формовки и сварки давлением.

5) Создание научных основ для разработки методов неразрушающей диагностики полых конструкций, изготовленных на основе совмещения сверхпластической формовки и сварки давлением.

3. Научно-исследовательская инфраструктура

Научно-исследовательская инфраструктура ИПСМ РАН формируется такими подразделениями как Центр коллективного пользования «Структурные и физико-механические исследования материалов», объединяющий в своем составе передовое научно-исследовательское оборудование, и Инновационный центр, имеющий в своем составе различное высокотехнологичное опытно-производственное оборудование.

Центр коллективного пользования «Структурные и физико-механические исследования материалов» в своем составе имеет следующее дорогостоящее оборудование:

1) Просвечивающий электронный микроскоп JEOL 2000EX (Япония).

2) Растровый электронный микроскоп Tescan MIRA 3 LMH (Чехия) с EBSD приставкой.

3) Растровый электронный микроскоп Tescan VEGA 3SBH (Чехия) с EDX приставкой.

4) Растровый электронный микроскоп JEOL JSM 840 (Япония) с EBSD приставкой.



- 5) Азотно-ожижительная станция LNP-20 производства компании CryoMech Inc. (США).
- 6) Спектрометр эмиссионный «СПАС-2» (Россия).
- 7) Рентгеновский дифрактометр ДРОН - 4-07 (Россия).
- 8) Рентгеновский дифрактометр ДРОН - 3М (Россия).
- 9) Рентгеновский дифрактометр ДРОН – 3 (Россия).
- 10) Прибор синхронного термического анализа STA 449 F1 Jupiter NETZSCH (Германия).
- 11) Оптический микроскоп «Метавал» Carl Zeiss (Германия).
- 12) Оптический микроскоп «AxioTech» Carl Zeiss (Германия).
- 13) Оптический микроскоп «Неофот-32» Carl Zeiss (Германия).
- 14) Оптический Микроскоп «Axiovert-100A» Carl Zeiss (Германия).
- 15) Конфокальный лазерный сканирующий микроскоп «LSM-5-Pascal-Exiter» Carl Zeiss (Германия).
- 16) Универсальная напольная электромеханическая испытательная машина Инстрон модель 5982, 100кН (Англия).
- 17) Универсальная напольная электромеханическая испытательная машина Шенк Требел, 100кН (Германия).
- 18) Сервогидравлическая испытательная машина Шенк серии PSA-10, 100кН (Германия).
- 19) Копер маятниковый Шенк Требел RPSW, 150/300 Дж (Германия).
- 20) Машина для испытаний на ползучесть и длительную прочность модель 2147П-30/1000 УХЛ 4.2 (США).
- 21) Твердомер Роквелла Инстрон модель RB2000 (Англия).
- 22) Машина сложного нагружения СНТ10БД (Россия).
- 23) Установка для ионно-лучевого распыления.

На базе Инновационного центра имеется следующее основное опытно-технологическое оборудование:

- 1) Гидравлические пресса от 63 до 1600 т – 7 штук.
- 2) Стан раскатной ПНС-600.
- 3) Стан раскатной горизонтальный СРГ 06-16.
- 4) Стан прокатный ДУО-300.
- 5) Стан прокатный МС-150.
- 6) Стан прокатный МКУ-280.
- 7) Министан радиально-сдвиговой прокатки РСП10-30.
- 8) Станки координатно-расточные, токарные, токарно-винторезные, токарно-карусельные станки, вертикально-фрезерные, сверлильные, координатно-шлифовальные, шлифовальные, строгальные, электроэрозионные и др. – 33 шт.
- 9) Печи -17 шт.

Кроме того, на базе Инновационного центра имеется следующее уникальное опытно-технологическое оборудование:



- 1) Лабораторный изотермический прокатный стан ЛИС-6-200 с нагревом валков до 850 град. С.
- 2) Стан для раскатки дисков СРД-800.
- 3) Оснастка для равноканального углового прессования.
- 4) Модернизированная установка для деформации сдвигом под давлением с автоматическим регулированием усилия и степени деформации и функцией их регистрации.
- 5) Оснастка для штамповки деталей газовой центрифуги для разделения изотопов урана: «крышки», «чашка», «диафрагма».
- 6) Оснастка для изготовления детали «приводной диск» для газовой центрифуги для разделения изотопов урана.
- 7) Оснастка для изготовления газобаллонов для спасательных жилетов и спасательных плотиков.
- 8) Универсальный изотермический штамповый блок УИШБ-510 для штамповки при температурах до 950 град. С.
- 9) Технологическая оснастка для изготовления полрой лопатки: комплект штампов для изготовления полрой широкохордной лопатки вентилятора для перспективного авиационного двигателя ПД-14.

4. Общая площадь опытных полей, закрепленных за учреждением. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»

Информация не предоставлена

5. Количество длительных стационарных опытов, проведенных организацией за период с 2013 по 2015 год. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»

Информация не предоставлена

6. Показатели деятельности организаций по хранению и приумножению предметной базы научных исследований

Информация не предоставлена

7. Значение деятельности организации для социально-экономического развития соответствующего региона

ИПСМ РАН имеет долговременную историю сотрудничества с предприятиями региона (Республики Башкортостан, в целом Уральского региона), такими как ПАО «УМПО», ООО «Спецоснастка и металлоконструкция» (г. Уфа), АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь), ПАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА» (г. В. Салда), ООО «ЧТЗ-Уралтрак», ООО «ГСКБ «Трансдизель», ООО «НПО «Центротех» (прежние названия - ННКЦ, УЗГЦ,



г. Новоуральск), АО «Чепецкий механический завод» (г. Глазов), ПАО «Агрегат» (г. Сим), ОАО «Кумертауское авиационное производственное предприятие» (КумАПП, г. Кумертау).

Разработанные ИПСМ РАН технологии обработки материалов и изготовления деталей конструкций внедряются в указанных предприятиях начиная с 1980-х гг. и вносят вклад в повышение производительности труда.

В 2013 г. институтом совместно с предприятиями региона АО «ОДК-Авиадвигатель», ПАО «УМПО», ПАО «Корпорация «ВСМПО-АВИСМА» и др. двигателестроительными предприятиями и организациями был успешно завершен проект, имеющий стратегическое значение не только для региона, но для экономики РФ в целом, - разработка и внедрение технологии изготовления полой лопатки вентилятора перспективного авиационного двигателя ПД-14. В результате в ПАО «УМПО» создан отдельный цех для производства этого инновационного изделия, закуплено уникальное оборудование, созданы новые рабочие места.

В ИПСМ РАН совместно с Башкирским государственным и Уфимским государственным авиационным техническим университетами ведется подготовка бакалавров, магистрантов, а также специалистов высшей квалификации - кандидатов и докторов наук (имеются магистратура, аспирантура и диссертационный совет).

8. Стратегическое развитие научной организации

В области инновационной деятельности ИПСМ РАН имеет стратегическое долгосрочное сотрудничество с предприятиями авиационного двигателестроения, такими как ПАО «УМПО», АО «ОДК-Авиадвигатель», ПАО «Кузнецов», ЦИАМ им. П.И. Баранова, ПАО «НПО «Сатурн» и др. В рамках этого сотрудничества АО «ОДК» и ИПСМ РАН в настоящее время работают над проектом создания Центра технологической компетенции «Лопатки для газотурбинных двигателей» на базе ИПСМ РАН (Письмо генерального директора АО «ОДК» А.В. Артюхова руководителю ФАНО России М.М. Котюкову от 14.07.2016 г. № ОДК/2-7375).

Другое направление стратегического сотрудничества - совместная работа с предприятиями ГК «Росатом» - ООО «НПО «Центротех» (прежние названия - ООО «ННКЦ», ООО «УЗГЦ»), ЗАО «ОКБ Нижний Новгород», ПАО «Ковровский механический завод».

В области фундаментальных и прикладных научных исследований и подготовки кадров ИПСМ РАН сотрудничает с Башкирским государственным университетом (БашГУ), Уфимским государственным авиационным техническим университетом (УГАТУ), Магнитогорским государственным техническим университетом (МГТУ), с которыми созданы научные образовательные центры «Физика и технология кристаллических материалов» (Приказ по ИПСМ РАН №1253/04 от 22.03.2010, по БашГУ № 444 от 26.03.2010), «Наноматериалы и сверхпластичность» (Приказ по ИПСМ РАН № 1253/02 от 26.01.2011, по УГАТУ № 316-О от 15.03.2011), «Конструкционные и функциональные материалы» (приказ по договору между ИПСМ РАН и МГТУ № 388 от 07.07.2010).



Кроме того, институт имеет базовые кафедры: «Физика и технология наноматериалов» в БашГУ, «Физика и технология сверхпластичности» в УГАТУ, на которых преподают ведущие сотрудники ИПСМ РАН, готовятся научные кадры, в том числе для института.

В настоящее время ИПСМ РАН организует стратегическое сотрудничество десяти институтов, подведомственных ФАНО России, формируя Комплексный план фундаментальных научных исследований по тематике «Перспективные производственные технологии формообразования материалов для машиностроения». Документы по КПНИ представлены в ФАНО России, формируется межведомственный совет.

Интеграция в мировое научное сообщество

9. Участие в крупных международных консорциумах (например - CERN, ОИЯИ, FAIR, DESY, МКС и другие) в период с 2013 по 2015 год

Информация не предоставлена

10. Включение полевых опытов организации в российские и международные исследовательские сети. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»

Информация не предоставлена

11. Наличие зарубежных грантов, международных исследовательских программ или проектов за период с 2013 по 2015 год

3 международных гранта РФФИ:

1) Совместный проект РФФИ-НАНУ № 12-08-90407-Укр_а «Разработка научных принципов создания высокопрочных конструкционных материалов посредством больших пластических деформаций при повышенных и криогенных температурах», партнер - Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт» НАНУ (г. Харьков, Украина) (2012 - 2013).

Разработан метод обработки заготовок титанового сплава ВТ6, включающий в себя всестороннюю изотермическую ковку с поэтапным понижением температуры и последующую криогенную деформацию квазиэкструзией и прокаткой.

2) РФФИ-ВАНТ № 12-08-93001-Вьет_а «Получение армированных углеродными нанотрубками композитов с металлической матрицей с помощью интенсивной пластической деформации и их исследование», партнер - Институт материаловедения Вьетнамской академии наук и технологий (г. Ханой, Вьетнам) (2012- 2013).

Показана возможность компактирования методом интенсивной пластической деформации нанокompозитов с металлической матрицей, армированных углеродными нанотрубками, вплоть до высоких концентраций углеродных нанотрубок.

3) РФФИ-DST № 13-08-92700-ИНД_а «Природа экстремально высоких и низких сверхпластических удлинений интенсивно деформированного ультрамелкозернистого



Al-Mg-Sc-Zr сплава», партнер - Индийский институт технологии (г. Мумбай, Индия), (2013-2014).

Изучено влияние параметров ультрамелкозернистой структуры и нанодисперсных частиц алюминидов переходных металлов на эволюцию микроструктуры алюминиевого сплава 1570 в условиях статического и динамического (изотермического растяжения) отжига с целью выявления факторов, определяющих уровень и природу его сверхпластических свойств.

Совместные исследования в рамках 10 двусторонних международных соглашений (сотрудничество в проведении исследований и образовательной деятельности, в обмене специалистами):

1) Cooperative agreement. Nanjing University of Science and Technology (Нанкинский университет науки и технологий), China. 07.12.2009-07.12.2014.

2) Agreement for Collaborative Research. Beijing Research Institute of Mechanical & Electrical Technology (BRIMET), China Academy of Machinery Science & Technology, China. 26.07.2013- 26.07.2033..

3) Memorandum of understanding. Institute of Materials Science of Vietnam Academy of Science and Technology (Институт материаловедения Вьетнамской академии наук и технологий), Vietnam. 08.11.2012-08.11.2017.

4) Agreement for Research Collaboration. Harbin Institute of Technology (Харбинский технологический институт), China. 01.12.2014-01.12.2019.

5) Memorandum of Understanding. Siksha Anusandhan University, Bhubaneswar, India. С 27.03.2014, бессрочно.

6) Cooperation Agreement. Institute of Metallurgy and Materials Science, Polish Academy of Science, Krakow, Poland. 18.02.2014-18.02.2019.

7) Memorandum of Understanding. Ariel University Center of Samaria, Ariel, Israel. С 01.02.2013, бессрочно.

8) Соглашение о сотрудничестве. Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (г. Ташкент, Республика Узбекистан). С 10.10.2012 до расторжения.

9) Соглашение о сотрудничестве. Государственное научное учреждение «Институт технической акустики НАН Беларуси», Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет». (г. Витебск, Республика Беларусь). С 09.07.2012 до расторжения.

10) Соглашение о сотрудничестве. Институт физико-технических проблем и материаловедения НАН Кыргызской Республики. (г. Бишкек, Республика Кыргызстан). С 19.10.2012 до расторжения.

НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЗАЦИИ

Наиболее значимые результаты фундаментальных исследований



12. Научные направления исследований, проводимых организацией, и их наиболее значимые результаты, полученные в период с 2013 по 2015 год

1. Изучение влияния температуры и свободной поверхности на механизмы пластической деформации и разрушения объемных и дисперсных наноматериалов

Пункты ПФНИ ГАН:

8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости

9. Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы

1) Методом молекулярно-динамического моделирования исследован процесс деформации растяжением нанопленок сплавов NiAl и FeAl при различных температурах. На кривых напряжение-деформация обоих сплавов обнаружена нетипичная область, в которой рост деформации сопровождается не повышением, а снижением растягивающего напряжения, то есть жесткость нанопленок отрицательна. Деформация в этой области связана с появлением доменов с разной величиной упругой деформации. С ростом температуры уменьшается как величина деформации до разрыва, так и модуль отрицательной жесткости нанопленок. Для FeAl неоднородная упругая деформация и отрицательная жесткость наблюдаются в более широком температурном интервале (до 1000 К), чем для NiAl (до 300 К), что составляет 0,65 и 0,16 от температуры плавления данных материалов, соответственно.

2) Методом молекулярно-динамического моделирования показано, что введение в нанопленки сплавов NiAl и FeAl призматических дислокационных петель приводит к необычному эффекту повышения их прочности. Упрочнение за счет введения дефектов объясняется созданием внутренних напряжений, приводящих к сжатию приповерхностных слоев нанопленок.

Публикации:

Bukreeva K.A., Babicheva R.I., Dmitriev S.V., Zhou K., Mulyukov R.R. Negative stiffness of the FeAl intermetallic nanofilm. *Physics of the Solid State*. 2013. V. 55. Issue 9. p. 1963-1967. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.854, DOI: 10.1134/S1063783413090072.

Babicheva R.I., Bukreeva K.A., Dmitriev S.V., Mulyukov R.R., Zhou K. Strengthening of NiAl nanofilms by introducing internal stresses. *Intermetallics*. 2013. V. 43. P. 171-176. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.541, DOI: 10.1016/j.intermet.2013.07.024.

Babicheva R.I., Bukreeva K.A., Dmitriev S.V., Zhou K. Discontinuous elastic strain observed during stretching of NiAl single crystal nanofilm. *Computational Materials Science*. 2013. V. 79. P. 52-55. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.086, DOI: 10.1016/j.commatsci.2013.06.007.

Bukreeva K.A., Babicheva R.I., Dmitriev S.V., Zhou K., Mulyukov R.R. Inhomogeneous elastic deformation of nanofilms and nanowires of NiAl and FeAl alloys. *JETP Letters*. 2013. V. 98. Issue 2. p. 91-95. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 1.172, DOI: 10.1134/S0021364013150058.



2. Изучение нелинейных дискретных механических и физических систем с притоком и оттоком энергии

Пункты ПФНИ ГАН:

8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1) Предложен ряд математических моделей, описывающих распространение света в системах оптических волноводов, включающих РТ-симметричные каплеры (пары волноводов, с усилением в одном из них и сбалансированными потерями в другом). Предложенные модели могут быть реализованы на практике и использованы для передачи информации по оптоволоконным системам.

2) Изучено рассеяние линейных волн в цепочке волноводов на дефекте в виде РТ-каплера. Аналитически получены коэффициенты отражения и прохождения линейных волн. Показано, что с помощью РТ-каплера можно добиться усиления как прошедших, так и отраженных волн. Построены решения, локализованные на дефекте. Для цепочки взаимосвязанных РТ-каплеров изучено рассеяние линейных волн на дефекте типа доменной стенки. Аналитически получены коэффициенты отражения и прохождения линейных волн. Показана возможность существенного усиления, либо ослабления как прошедших, так и отраженных волн. Показана возможность фильтрации волн с помощью данного дефекта.

3) Численно установлено, что рассеяние солитонов малых и умеренных амплитуд на РТ-каплере хорошо описывается линейной теорией. Рассеяние солитонов больших амплитуд приводит к возбуждению моды, локализованной на дефекте. При взаимодействии солитонов с локализованными модами больших амплитуд в системе может происходить переключение между режимами функционирования от устойчивого к неустойчивому. Для цепочки взаимосвязанных РТ-каплеров изучено взаимодействие солитонов. Показано, что при взаимодействии солитонов могут образовываться бризерные объекты.

Публикации:

Suchkov S.V., Borisov D.I., Sukhorukov A.A., Kivshar Yu.S. Signal manipulation with a PT-symmetric coupler embedded into an array of optical waveguides // Letters on materials. 2014. V. 4. P. 222-225. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2014) 0.704, DOI: 10.22226/2410-3535-2014-4-222-225

Suchkov S.V., Dmitriev S.V., Sukhorukov A.A., Kivshar Y.S., Barashenkov I.V., Andriyanova E.R., Badgetdinova K.M. Phase sensitivity of light dynamics in PT-symmetric couplers // Applied Physics A: Materials Science & Processing. 2014. V. 115. № 2. P. 443-447. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 1.444, DOI: 10.1007/s00339-013-8036-1.



Rysaeva L.Kh., Suchkov S.V., Dmitriev S.V. Probability of breaking of the PJ symmetry at collision between breathers with random phases in the model of a PJ symmetric planar coupler. JETP Letters. 2014. V. 99. Issue 10. p. 577-580. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 1.172, DOI: 10.1134/S0021364014100099.

3. Исследование структуры и механического поведения ультрамелкозернистых титановых сплавов и сталей, полученных методами деформационно-термической обработки

Пункты ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

1) Установлены режимы формирования ультрамелкозернистой структуры в титановых альфа-сплавах ВТ1-0 и ВТ5-1, титановом (альфа+бета)-сплаве ВТ6, низкоуглеродистых сталях марок 05Г2МФБ, 12ГБА, 12Х18Н10Т при различных обработках, включающих в отдельности или в комбинациях всестороннюю изотермическую ковку, прокатку, равноканальное угловое прессование и обратимое водородное легирование.

2) Исследованы механические характеристики титанового (альфа+бета)-сплава ВТ6 в различных структурных состояниях. Показано, что в сплаве с ультрамелкозернистой (УМЗ) бимодальной структурой повышенная прочность сочетается с пластичностью и вязкостью, характерными для сплава с мелкозернистой глобулярной структурой. Так, значение ударной вязкости для образцов с наведенной усталостной трещиной ($K_{ST} = 0,15$ МДж/кв.м) из сплава с УМЗ бимодальной структурой значительно выше, чем для сплава ВТ6 с однородной УМЗ структурой ($K_{ST} = 0,08$ МДж/кв.м).

3) Путем создания равновесной ультрамелкозернистой структуры с размером зерен около 0,3 мкм посредством всесторонней изотермическойковки с последующим отжигом при температуре 550 град. С, не приводящим к росту зерен, достигнуто снижение температуры хладноломкости низкоуглеродистой стали 12ГБА примерно на 50 град. С по сравнению с крупнозернистым состоянием. Такой значительный эффект объясняется существенным повышением работы распространения трещины при измельчении зерен и последующем снятии внутренних напряжений путем отжига. Полученный результат представляет интерес для повышения надежности труб и конструкций из стали 12ГБА, используемых в условиях Крайнего Севера.

Публикации:

Сергеев С.Н., Сафаров И.М., Галеев Р.М., Корзников А.В. Термостабильность субмикроструктурной структуры в низкоуглеродистой стали 05Г2МФБ // Перспективные материалы. 2013. № 15. С. 119-123. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263

Сафаров И.М., Сергеев С.Н., Корзников А.В., Галеев Р.М., Гладковский С.В.. Волокнистая ультрамелкозернистая структура и свойства прокатанной низкоуглеродистой стали



12ГБА // Письма о материалах. 2013. Т. 3. Вып.1. С. 3-6. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 1.057. DOI: 10.22226/2410-3535-2013-1-3-6.

Сафаров И.М., Галеев Р.М., Сергеев С.Н., Корзников А.В. Влияние комбинированной деформационной обработки на структуру и механические свойства стали 05Г2МФБ // Письма о материалах, 2014. том 4, вып. 1, С. 55-58. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2014) 0.704. DOI: 10.22226/2410-3535-2014-1-55-58.

Safarov I.M., Korznikov A.V., Galeev R.M., Sergeev S.N., Gladkovskii S.V., Borodin E.M., Pyshmintsev I.Y. Strength and impact toughness of low-carbon steel with fibrous ultrafine-grained structure. *The Physics of Metals and Metallography*. 2014. Т. 115. № 3. С. 295-302. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.704, doi:10.1134/S0031918X14030107.

4. Исследование структуры и свойств поверхностных слоев в материалах триботехнического назначения, полученных методами электроосаждения и деформационно-термической обработки

Пункт ПФНИ ГАН:

29. Триботехника и износостойкость высоконагруженных элементов машин

1) Методом электроосаждения на медной и бронзовой подложке получено покрытие с высокими трибологическими характеристиками из тройного сплава на основе олова состава Sn13%Sb10%Cu. Методом PCA в покрытии впервые обнаружены фазы, соответствующие литому баббиту Б83: SnSb в количестве 45,4% и Cu6Sn5 - 13,7%. Потеря массы полученного сплава при трении в 4 раза меньше, чем у литого баббита Б83.

2) Показано, что режим кристаллизации баббита при литье влияет на микроструктуру полученного при этом антифрикционного слоя. Баббит, полученный методом жидкой штамповки, при которой в процессе кристаллизации материал подвергается давлению, характеризуется однородной структурой с мелкими кристаллами кубической бета-фазы и раздробленными иглами гамма-фазы и низкой скоростью износа.

Публикации:

Valeeva A.Kh., Valeev I.Sh., Fazlyakhmetov R.F. Effect of structure of B83 babbitt on its wear. *Journal of Friction and Wear*, 2014, V. 35, Issue 4, p. 311-315. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.400, DOI: 10.3103/S1068366614040138.

Валеева А.Х., Валеев И.Ш., Фазлыяхметов Р.Ф. Микроструктура и свойства электроосажденного сплава SnSbCu // Письма о материалах. 2014. Т.4 (3). С. 134-136. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2014) 0.704. DOI: 10.22226/2410-3535-2014-3-134-136.

Valeeva A.Kh., Valeev I.Sh., Fazlyakhmetov R.F., Pshenichnyuk A.I. On the mechanism of running-in during wear tests of a babbitt B83. *The Physics of Metals and Metallography*, 2015. V. 116, No. 5, P. 509-511. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.704, doi:10.1134/S0031918X15050129.

Валеева А.Х., Валеев И.Ш., Фазлыяхметов Р.Ф., Пшеничнюк А.И. Износ баббита Б83 с различной микроструктурой // Письма о материалах. 2015. Т. 5. № 2. С. 147-151. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2014) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2015-2-147-151.



5. Исследование электронно-эмиссионных и магнитных свойств наноструктурных и ультрамелкозернистых материалов

Пункты ПФНИ ГАН:

8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости

9. Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1) Разработан и изготовлен металлический полевой катод с нанокристаллической структурой, обеспечивающей наименьшую работу выхода и наибольшую плотность остриев на поверхности. Создан макет катодолюминесцентной лампы, продемонстрировавший принципиальную возможность повышения энергосбережения лампы в результате использования такого катода.

2) Продемонстрировано значительное увеличение пластичности и ударной вязкости ультрамелкозернистого никеля при ультразвуковой обработке с умеренными амплитудами напряжений (до 100 МПа), что объясняется релаксационным воздействием ультразвука на дефектную структуру материала. Этот эффект подобен воздействию отжига, но происходит в существенно более короткие интервалы времени (десятки секунд), что позволяет рассматривать ультразвуковую обработку как перспективный метод улучшения механических свойств УМЗ материалов.

3) Показано, что линейная сварка трением позволяет получить качественное твердофазное соединение стали 20 с магнитными сплавами системы Fe-Cr-Co. При сварке трением заметного перераспределения химических элементов не происходит, а формируется градиентная структура, характеризующаяся повышением дисперсности структуры и микротвердости при переходе от стали к магнитному сплаву. Полученные данные могут быть использованы при разработке крупногабаритных составных магнитных роторов, имеющих стальную сердцевину и тонкую магнитную оболочку.

Публикации:

Khisamov R.Kh., Yumaguzin Yu.M., Mulyukov R.R., Nazarov K.S., Salimov I.M., Safarov I.M., Zubairov L.R. Effect of a crystalline structure on the ion-electron emission of the Al + 6% Mg alloy. *Technical Physics Letters*. 2013. V. 39. Issue 3. p. 265-267. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.702, doi:10.1134/S1063785013030061.

Khisamov R.Kh., Safarov I.M., Mulyukov R.R., Yumaguzin Yu.M. Effect of grain boundaries on the electron work function of nanocrystalline nickel. *Physics of the Solid State*. 2013. V. 55. Issue 1. p. 1-4. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.831. doi:10.1134/S1063783413010186.

Samigullina A.A., Nazarov A.A., Mulyukov R.R., Tsarenko Yu.V., Rubanik V.V. Effect of ultrasonic treatment on the strength and ductility of bulk nanostructured nickel processed by



equal-channel angular pressing. *Reviews on Advanced Materials Science*. 2014. V. 39. P. 48-53. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 1.245.

Корзникова Г.Ф. Влияние температуры деформации на микроструктуру магнитотвердого сплава Fe-30Cr-8Co, подвергнутого сложному нагружению. *Письма о материалах*. 2013. Т. 3 Вып. 3. С. 184-187. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 1.057. DOI: 10.22226/2410-3535-2013-3-184-187.

Korzniikova G.F., Mironov S.Yu., Korzniikova E.A. Plasticity enhancement in 25Cr15Co hard magnetic alloy deformed in bridgman anvils. *Physical Mesomechanics*. 2014. V. 17. Issue 3. p. 216-222. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 1.724, DOI: 10.1134/S1029959914030060.

6. Разработка литейных интерметаллидных гамма-TiAl сплавов и режимов их термической обработки/газостатирования для изготовления лопаток турбины низкого давления ГТД методом центробежного литья

Пункты ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

Для сплава Ti-43,5Al-4Nb-1Mo-0,1B оптимизированы режимы термической обработки, изготовлены образцы и проведены испытания на растяжение, длительную прочность при повышенных температурах и усталостные свойства при комнатной температуре. Сравнение со свойствами известных литейных гамма-TiAl сплавов показывает, что в целом полученные в настоящем исследовании свойства сопоставимы со свойствами, полученными на сплавах близкого состава. Ресурсами для повышения низкотемпературной пластичности являются: 1) проведение высокотемпературной газостатической обработки; 2) использование после отжига при 1250 град. С контролируемого охлаждения в печи с низкой скоростью (<0,5 град. С/сек); 3) оптимизация состава сплава, рекомендуемый состав - Ti-45Al-4Nb-1Mo-0,2B (ат. %). Увеличение содержания алюминия приведет к уменьшению содержания хрупкой альфа 2-Ti3Al фазы, что будет способствовать повышению низкотемпературной пластичности сплава.

Публикации:

Имаев В.М., Имаев Р.М., Назарова Т.И., Хисматуллин Т.Г. Способ термической обработки литых заготовок из заэвтектидных интерметаллидных сплавов на основе фаз гамма-TiAl+альфа2-Ti3Al. Патент РФ на изобретение № 2503738.

Imayev V.M., Gaisin R.A., Gaisina E.R., Imayev R.M., Fecht H.-J., Pyczak F. Effect of hot forging on microstructure and tensile properties of Ti-TiB based composites produced by casting. *Mater. Sci. Eng. A*. 2014. V. 609. P. 34-41. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.647, DOI: 10.1016/j.msea.2014.04.091.



7. Получение композиционного сплава АК12Д/SiC методом жидкой штамповки и исследование его структуры и механических свойств

Пункты ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

Разработан способ получения композиционного материала АК12Д - 18%SiC методом механического замешивания частиц SiC в матричный расплав АК12Д при последующей кристаллизации под давлением. Показано, что горячая деформация композиционного материала АК12Д - 18%SiC приводит к дроблению частиц кремния и интерметаллидных фаз, и образованию дефектов в виде микротрещин и микропор; размер, форма количество которых зависит от скорости деформации. Частицы SiC не меняют своей морфологии. Оптимизация режимов деформирования позволила повысить уровень механических свойств сплава АК12Д - 18%SiC при комнатной температуре: временное сопротивление - в 2,6 раза, относительное удлинение - в 5 раз по сравнению с закристаллизованным под давлением состоянием.

Публикации:

Халикова Г.Р., Кальщиков Р.В., Швец К.С., Трифонов В.Г. Структура и механические свойства алюминиевого сплава АК12ММгН, армированного частицами SiC // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. Т.12. №4. 2015. С. 458-462. РИНЦ, IF 2015 по РИНЦ 1.093.

Халикова Г.Р., Швец К.С., Трифонов В.Г. Поведение частиц кремния в алюминиевом сплаве АК21 при интенсивной пластической деформации и высокотемпературном отжиге // Письма о материалах. 2015. Т. 5. № 2. С. 220-224. РИНЦ, IF 2015 по РИНЦ 0.613.

8. Получение сваркой давлением слоистого материала из титанового сплава и изучение возможности его использования при изготовлении полых конструкций сверхпластической формовкой

Пункты ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

Изучено механическое поведение слоистого материала, полученного сваркой давлением (СД) листов из титанового сплава ВТ6, имеющего ультрамелкозернистую (УМЗ) структуру. Установлено влияние расположения поверхностей твердофазного соединения (ТФС) относительно направления действующей нагрузки на характеристики ударного разрушения



слоистого материала. Определено влияние пор в зоне ТФС на свойства слоистого материала. При остаточной доле пор в зоне ТФС (около 1 %) наибольшее сопротивление ударному разрушению оказывает материал с расположением поверхностей соединения, при котором трещина распространяется одновременно через все слои, а наименьшее - при распространении трещины вдоль поверхности соединения. Дана количественная оценка работ зарождения и распространения трещины, составляющих общую работу разрушения. Слоистый материал с изотропными свойствами рекомендуется использовать в качестве материала для изготовления сферических сосудов.

Публикации:

Cepeda-Jimenez C.M., Carreno F., Ruano O.A., Sarkeeva A.A., Kruglov A.A., Lutfullin R.Ya. Influence of interfacial defects on the impact toughness of solid state diffusion bonded Ti-6Al-4V alloy based multilayer composites // *Materials Science and Engineering*. 2013. V. A 563. P. 28-35. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.647, DOI: 10.1016/j.msea.2012.11.052.

Круглов А.А., Мухаметрахимов М.Х., Саркеева А.А. Влияние пор на механические свойства слоистого материала из титанового сплава ВТ6 // *Письма о материалах*. 2013. Т. 3(1). С. 12-15. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 1.057.

Круглов А.А., Саркеева А.А., Сафиуллин Р.В., Лутфуллин Р.Я. Влияние поверхности твердофазного соединения на распространение трещины в слоистом материале // *Перспективные материалы*. 2013. №15. С. 58-60. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263.

Мухаметрахимов М.Х. Механические свойства структурных композитов из титанового сплава ВТ6 // *Перспективные материалы*. 2013. № 15. С. 83-86. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263.

Сафиуллин А.Р., Сафиуллин Р.В., Сафин Ф.Ф., Ахунова А.Х., Дмитриев С.В. Оптимизация процесса сверхпластической формовки трехслойных полых конструкций // *Перспективные материалы*. 2013. № 15. С. 114-118. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263.

9. Развитие технологий раскатки осесимметричных деталей из жаропрочных сплавов для современных газотурбинных авиационных двигателей и наземных силовых установок

Пункты ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

24. Механика технологий, обеспечивающих устойчивое инновационное развитие инфраструктур и пониженной уязвимости по отношению к возможным внешним и внутренним дестабилизирующим факторам природного и техногенного характера.

1) Показана принципиальная возможность изготовления осесимметричных конических деталей методом ротационной вытяжки из листовых материалов, в том числе из хромистой стали ЭИ962-Ш. Установлено, что количество переходов при ротационной вытяжке заготовок зависит от деформируемости (пластичности) раскатываемого материала, усилия деформирования и склонности к образованию дефектов. В результате ротационной вы-



тяжки формируется мартенситная структура со средним размером матричных зерен 20-30 мкм.

2) В сплавах ХН58МБЮД и Ni 718Plus путем создания ультрамелкозернистой структуры получены рекордные характеристики сверхпластичности при пониженных температурах. В образце сплава ХН58МБЮД в состоянии с размером зерен 0.8 мкм при температуре 800 град. С получено относительное удлинение в 1430%, а в образце сплава Ni 718Plus с размером зерен 0.3 мкм - 1450% при температуре 900 град. С.

Публикации:

Utyashev F.Z., Burlakov I.A., Geikin V.A., Morozov V.V., Mulyukov R.R., Nazarov A.A., Sukhorukov R. Yu. Scientific fundamentals of high-efficiency roll forming technology for axially symmetrical parts of a gas-turbine engine rotor of high-temperature alloy // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2013. V. 42. Issue 5. P. 419-426. Scopus, РИНЦ, DOI: 10.3103/S1052618813050154.

Утяшев Ф.З. Роль составляющих интенсивной пластической деформации в формировании ультрамелкозернистых структур в металлах. // Перспективные материалы. 2013. № 15. С. 128-134. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263.

Утяшев Ф.З. Особенности интенсивной пластической деформации и структурообразования металла // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2013. № 4-1 (182). С. 204-212. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.252.

Галимов А.К., Утяшев Ф.З. Моделирование структурообразования в металлах при интенсивной пластической деформации. // КШП. ОМД. 2013. № 5. С. 40 - 45. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.401.

10. Разработка научных основ технологических процессов изготовления ультрамелкозернистых полуфабрикатов из циркониевых сплавов

Пункты ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

1) Определены термомеханические режимы и отработан технологический маршрут получения объемного полуфабриката с однородной УМЗ структурой из циркониевого сплава Э125. Показано, что в результате деформационно-термической обработки литая структура сплава Э125 может быть преобразована сначала в однородную по размерам зерен бета-превращенную структуру, затем полученная крупнозернистая пластинчатая структура сплава - в однородную в объеме полуфабриката УМЗ структуру. Разработаны термомеханические режимы и отработан технологический маршрут получения листового полуфабриката с УМЗ структурой из циркониевого сплава Э125, начиная от литого состояния материала.



2) Исследованы структура и механические характеристики УМЗ полуфабрикатов, изготовленных по разработанным технологиям. Показано, что уровень прочностных и пластических свойств УМЗ полуфабрикатов при комнатной температуре и температуре испытания 320 градусов С с достаточным запасом удовлетворяют требованиям технических условий.

Публикации:

Murzinova M.A., Shagiev M.R., Srivastava D., Manikrishna K.V., Neogy S. and Dey G.K. Effect of hydrogen treatment on properties and structure development in $Zr_{2.5}Nb$ alloy // Materials Science & Engineering A. 2014. V. 608. P. 2534. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.647, 10.1016/j.msea.2014.04.016.

Галеев Р.М., Валиахметов О.Р., Хасанова Г.Ф., Мулюков Р.Р. Формирование ультрамелкозернистой структуры в сплаве $Zr-2,5\%nb$ методом всесторонней изотермическойковки. // Перспективные материалы. 2013. № 15. С. 40-43. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263.

11. Разработка феноменологической модели эволюции микроструктуры и механического поведения металлических материалов при интенсивной пластической деформации

Пункты ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

Исследованы микроструктура и микротекстура чистой меди, никеля и алюминия, деформированных до критических степеней различными методами интенсивной пластической деформации. Анализ микротвердости, микроструктуры, микротекстуры и эволюции плотности дислокаций позволил выявить основные параметры процесса и разработать феноменологическую модель для описания упрочнения и определения минимального размера зерен при интенсивной пластической деформации чистых ГЦК металлов. Модель основана на рассмотрении баланса между накоплением энергии пластической деформации и ее диссипацией в виде тепла и внутренней энергии дефектов кристаллической решетки, в первую очередь, границ зерен и позволяет рассчитать средний размер зерен как функцию параметров, характеризующих процесс интенсивной деформации, а также материальных параметров образца, и описывает все основные экспериментально наблюдаемые сценарии эволюции микроструктуры металлов.

Публикации:

Zhilyaev A.P., Gimazov A.A., Langdon T.G. Recent developments in modelling of microhardness saturation during SPD processing of metals and alloys // J. Mater. Sci. 2013. V. 48. P. 4461-4466. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.302, doi:10.1007/s10853-013-7155-6.

Zhilyaev A.P., Swaminathan S., Pshenichnyuk A.I., Langdon T.G., McNelley T.R. Adiabatic heating and the saturation of grain refinement during SPD of metals and alloys: experimental



assessment and computer modelling // J. Mater. Sci. 2013. V. 48. P. 4626-4636. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.302, doi:10.1007/s10853-013-7254-4.

Srinivasarao B., Zhilyaev A.P., Muñoz-Moreno R., Pérez-Prado M.T. Effect of high pressure torsion on the microstructure evolution of a gamma Ti-45Al-2Nb-2Mn-0.8 vol. % TiB₂ alloy // J. Mater. Sci. 2013. V. 48. P. 4599-4605. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.302, doi:10.1007/s10853-013-7201-4.

Srinivasarao B., Zhilyaev A.P. Langdon T.G. and Perez-Prado M.T. On the relation between the microstructure and the mechanical behavior of pure Zn processed by high pressure torsion // Mater. Sci. Eng. A. 2013. V. 562. P. 196-202. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.647, DOI: 0.1016/j.msea.2012.11.027.

12. Структура и механическое поведение ультрамелкозернистых алюминиевых и магниевых листов, полученных с использованием интенсивной пластической деформации

Пункт ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

Изучены особенности и механизмы измельчения зерен в сложнoleгированных сплавах, содержащих частицы вторых фаз различной природы и морфологии, определен ряд технологических и эксплуатационных свойств листовых полуфабрикатов полученных с использованием интенсивной пластической деформации. Для алюминиевого сплава 1570С показана возможность получения холоднокатаных ультрамелкозернистых листов, демонстрирующих высокоскоростную сверхпластичность. Показано, что электроимпульсная обработка нагартованных сплавов типа 1570 может рассматриваться как эффективный способ получения (ультра)мелкозернистых листовых полуфабрикатов. Показано, что старение по разработанным режимам предварительно закаленного и интенсивно криопрокатанного сплава Д16 системы Al-Cu-Mg-Mn позволяет одновременно повысить параметры его прочности, пластичности и трещиностойкости, фиксируемые после прокатки, придавая сплаву уникальный баланс свойств. На примере магниевого сплава МА14 системы Mg-Zn-Zr показано, что сочетание всесторонней изотермическойковки и изотермической прокатки позволяет получать мелкозернистые листовые полуфабрикаты с изотропным пределом текучести.

Публикации:

Мухаметдинова О.Э., Автократова Е.В., Ситдииков О.Ш., Маркушев М.В. Сверхпластичность Al-Mg-Sc-Zr сплава после углового прессования и прокатки // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. № 3(25). С. 229-232. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.564.

Нугманов Д.Р., Маркушев М.В. Микроструктура магниевого сплава МА14 после всесторонней изотермическойковки в однофазной области // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. № 3(25). С. 237-239. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.564.



Маркушев М. В., Автокротова Е. В., Крымский С. В., Ситдииков О. Ш. Прочность и трещиностойкость криопрокатанного и состаренного алюминиевого сплава Д16 // Перспективные материалы. 2013. № 15. С. 74-77. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263.

Автокротова Е. В., Мухаметдинова О. Э., Ситдииков О. Ш., Маркушев М. В. Структура и сверхпластичность алюминиевого сплава 1570С, подвергнутого теплomu равноканальному угловому прессованию и холодной прокатке // Перспективные материалы. 2013. № 15. С. 78-82. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263.

Автокротова Е. В., Ильясов Р. Р., Валеев И. Ш., Ситдииков О. Ш., Маркушев М. В. Структура алюминиевого сплава 1570С после холодной прокатки и обработки мощными импульсами тока // Перспективные материалы. 2013. № 15. С. 44-48. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 0.263.

13. Структурно-фазовые превращения в высокотемпературных сверхпроводящих керамиках при термомеханическом воздействии

Пункты ПФНИ ГАН:

8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1) Установлено, что при деформации кручением под давлением ВТСП керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ формируется аксиальная неограниченная текстура $\{00L\}$. Размытие текстуры при угле кручения выше 30 градусов происходит плавно путем выхода на поверхность шлифа плоскостей, наиболее близких к базисной - $\{105\}$ и $\{106\}$.

2) Разработана методика ускоренной обработки данных энергодисперсионного микро-рентгеноспектрального анализа многофазных материалов.

3) Проведен качественный и количественный анализ фаз в деформированной ВТСП керамике $\text{Bi}(\text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$. Установлено, что при деформации наряду с текстурой матричной фазы формируется и текстура частиц вторичных фаз.

Публикации:

Имаев М.Ф., Пархимович Н.Ю. Структура и фазовые превращения при горячей деформации высокотемпературного сверхпроводника $\text{Bi}(\text{Pb})_{2223}$: I. Вторичные фазы. // Письма о материалах. 2013. Т. 3. №3. С. 188-192. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2013) 1.057. DOI: 10.22226/2410-3535-2013-3-188-192.

Салихов А.Р., Пархимович Н.Ю., Имаев М.Ф. Методика ускоренного фазового анализа многофазных материалов // Заводская лаборатория. 2014. Т. 80. № 2. С. 31-33. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2014) 0.394.

14. Структура и функциональные свойства ультрамелкозернистых материалов, полученных деформационными методами

Пункт ПФНИ ГАН:



23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1) На основе результатов испытаний разработанного ранее макета создана рабочая модель энергоэффективной катодолюминисцентной лампы с металлическим полевым катодом с нанокристаллической структурой, полученной деформационным методом. Действие лампы основано на эффекте понижения работы выхода электрона и повышения тока тлеющего газового разряда при наноструктурировании материала катодов за счет повышения протяженности границ зерен, который был обнаружен в ранее проведенных исследованиях по теме.

2) Методом сварки давлением с использованием никелевой прослойки получено твердофазное соединение магнитотвердого сплава 25X15К и Стали 3. В зоне соединения образуется сложная многослойная структура, состоящая из непрерывных твердых растворов на основе Fe-Ni и прослойки квазиэвтектоида гамма+сигма в зоне соединения никеля со сплавом 25X15К, которая обеспечивает соединению высокую прочность на отрыв. Полученный результат может быть использован при разработке крупногабаритных композитных магнитных роторов со стальным сердечником, способных работать при высоких скоростях вращения.

3) Для изготовления приводного диска газовой центрифуги выбран материал - мартенситно-старящая сталь ЭП-836, обладающая высоким комплексом прочностных и магнитных характеристик. Определен режим деформационно-термического воздействия на микроструктуру этой стали, позволяющий дополнительно повысить ее прочностные свойства на 10%, а магнитные характеристики - на 50-100% за счет выделения в процессе обработки мелкодисперсных частиц.

Публикации:

Алетдинов А. Ф., Корзникова Г. Ф., Корнева А. В., Галеев Р. М., Корзников А. В. Структура и механические свойства соединения магнитотвердого сплава 25X15К с малоуглеродистой сталью, полученного сваркой давлением // Письма о материалах 2015. Т.5. №2. С.161-164. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2015-2-161-164.

Korzniakov A.V., Dmitriev S.V., Korznikova G.F., Gladkovskii S.V., Potekaev A.I. The effect of the heat treatment regime on the structure and physical-mechanical properties of a 23X15KT hard magnetic alloy. Russian Physics Journal. 2015. V. 57. Issue 10. p. 1308-1312. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0382-3 IF 0.667

Балапанов М.Х., Ишембетов Р.Х., Кутербеков К.А., Кубенова М.М., Даниленко В.Н., Назаров К.С., Якшибаев Р.А. Термоэлектрические и тепловые свойства суперионных сплавов $Ag_xCu_{2-x}Se$ ($x = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.25$) // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 4. С. 360-365. Scopus, РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613.



Musabirov I.I., Sharipov I.Z., Mulyukov R.R. Temperature Dependence of the Magnetization of the Ni₅₂Mn₂₄Ga₂₄ Alloy in Various Structural States. Russian Physics Journal. 2015, V. 58, Issue 6, p. 745-749. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0561-2.

Nazarov K.S., Khisamov R.Kh., Yumaguzin Yu.M., Mulyukov R.R. The formation of a multipeak relief on the surface on nanostructured nickel and field electron emission from it. Technical Physics Letters. 2015. V. 41. Issue 6. p. 522-525. IF 0.702, DOI: 10.1134/S1063785015060103.

15. Научные основы получения полуфабрикатов с ультрамелкозернистой структурой из сплавов на основе титана и железа методами обработки давлением

Пункт ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1) Установлено, что при комбинированной деформационной обработке высоколегированных псевдо-бета-сплавов титана, включающей обратимое водородное легирование, введение в сплав водорода позволяет при деформации в однофазной бета- области подавить процессы динамического возврата и обеспечить за счет развития динамической рекристаллизации формирование ультрамелкозернистой структуры с размером бета - зерен 2 мкм. Ранее столь мелкие бета - зерна в сплавах титана наблюдали только после деформации в двухфазной области.

2) Выполнен расчет величины удельной энергии межфазной границы в альфа+бета титановом сплаве в широком интервале температур с использованием модели ступенчатого строения полукогерентной альфа/бета границы. Впервые установлено, что даже при снижении температуры фазового превращения до 600 град. С величина энергии межфазной границы в двухфазном титановом сплаве не достигает уровня энергии, характерной для некогерентной границы. Это означает отсутствие термодинамического стимула для сфероидизации пластинчатых частиц и, тем самым, определяет стабильность пластинчатой структуры титанового сплава при отжиге и подтверждает необходимость деформационного воздействия для её преобразования в глобулярную структуру.

3) Исследовано поведение ударной вязкости низкоуглеродистой трубной стали 05Г2МФБ с волокнистой ультрамелкозернистой структурой (поперечный размер зерен около 0,5 мкм) и равноосной мелкозернистой структурой (размер зерен около 5 мкм) при понижении температуры от +20 град. С до 196 град. С. Показано, что при переходе от равноосной структуры к волокнистой порог хладноломкости материала смещается от -110 град. С до температуры ниже -196 град. С. Это объясняется сохранением высокого значения работы распространения трещин в волокнистой структуре и его уменьшением в равноосной структуре. Полученный результат может быть полезен для применения в конструкциях из низкоуглеродистой стали 05Г2МФБ, эксплуатируемых при низких температурах.



Публикации:

Murzinova M.A. Effect of deformation temperature on grain refinement in alpha titanium alloy VT5-1 // Письма о материалах. 2015. Т. 5 (4). С. 368-370. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613.

Dyakonov G.S., Mironov S.Yu, Zherebtsov S.V., Malysheva S.P., Salishchev G.A., Salem A.A., Semiatin S.L. Grain-structure development in heavily cold-rolled alpha-titanium // Materials Science and Engineering A. 2014. V. 607. P. 145-154. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.647, DOI: 0.1016/j.msea.2014.03.141.

Korznikov A.V., Safarov I.M., Galeev R.M., Sergeev S.N., Potekaev A.I. Ultrafine-grained structure and its thermal stability in low-carbon steel. Russian Physics Journal. 2015. V. 58. Issue 7. p. 898-903. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0588-4

Сафин Э.В., Малышева С.П., Галеев Р.М. Повышение механических свойств титанового сплава ВТ6 путем формирования бимодальной субмикро-микроструктуры // Письма о материалах. 2015. Т. 5 (1). С. 94-96. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613.

Safarov I.M., Korznikov A.V., Galeev R.M., Sergeev S.N., Gladkovsky S.V., Pyshmintsev I.Yu. An anomaly of the temperature dependence of the impact strength of low-carbon steel with an ultrafine-grain structure. Doklady Physics. 2016. V. 61, Issue 1. p. 15-18. IF 0.513. DOI: 10.1134/S1028335816010109.

16. Структура и свойства антифрикционных материалов на основе белых металлов, полученных методами электроосаждения и деформационно-термической обработки

Пункт ПФНИ ГАН:

29. Триботехника и износостойкость высоконагруженных элементов машин.

1) Показано, что радиальная сдвиговая прокатка прутка из баббита Б83 с коэффициентом вытяжки до 2,2 приводит к образованию разупрочненного поверхностного слоя с матричной фазой, в которой равномерно распределены мелкие глобулярные частицы твердых интерметаллидных фаз, при этом изменений микроструктуры и микротвердости в центральной части заготовки не наблюдается. Радиально-сдвиговая прокатка баббита Б83 приводит к образованию мелкозернистой структуры в крупных кристаллах интерметаллидной бета-фазы, при этом увеличение коэффициента вытяжки вызывает более сильное измельчение зерен.

2) На основе исследования микроструктуры, микротвердости и сравнения кривых изнашивания в процессе испытаний на износ литого баббита Б83, электроосажденного баббита и баббита, полученного жидкой штамповкой с мелкими, диспергированными частицами бета-фазы, предложен механизм износа на стадии приработки многофазного антифрикционного материала. Согласно этому механизму, приработка при износе сводится к диспергированию крупных интерметаллидных частиц бета-фазы путем их скола, впрессовыванию образующихся частиц в мягкую пластичную матрицу и формированию достаточно однородного и равномерно замощенного твердыми мелкими частицами по-



крытия. Зависимость износа от эффективной твердости покрытия подчиняется соотношению Арчарда.

3) Установлено, что микроструктура и химический состав электроосажденного сплава SnSbCu в значительной степени зависит от концентрации сурьмы и наличия поверхностно-активных веществ в электролите. Введение в электролит поверхностно-активных веществ приводит к образованию более мелкозернистой структуры осаждаемого сплава. Низкая концентрация сурьмы в электролите (0,01 и 0,0125 М) вызывает образование твердого раствора олова, содержащего фазы Cu₆Sn₅ и Sn₃Sb₂. Увеличение концентрации сурьмы до 0,0175 М приводит к образованию смеси интерметаллидов Cu₂Sb и Cu₃Sn.

Публикации:

Valeeva A.Kh., Valeev I.Sh. Electrodeposition of SnSbCu alloy on copper from an electrolyte with varied content of antimony chloride. Russian Physics Journal. 2015. V. 58. Issue 6. p. 869-872. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0584-8.

Валеева А.Х., Валеев И.Ш. Влияние радиально-сдвиговой прокатки на структуру и свойства баббита Б83 // Материаловедение. 2016. № 2. С. 4-9. РИНЦ, IF РИНЦ 2015: 0.562.

Валеева А.Х., Валеев И.Ш. Исследование покрытий SnSbCu, электроосажденных на бронзу и медь // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 2. С. 122-125. Scopus, РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2016-2-122-125.

Валеев И.Ш., Валеева А.Х., Мулюков Р.Р., Хисамов Р.Х. Структура и свойства баббита Б83 подвергнутого кручению под квазигидростатическим давлением // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 4. С. 347-349. Scopus, РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2016-4-347-349.

Валеева А.Х., Валеев И.Ш., Ахунова А.Х. Моделирование на DEFORM-2D контактных давлений при работе подшипников скольжения из баббита Б83 // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2016. Т.13. № 4. С. 530-533. РИНЦ, IF 2015 по РИНЦ 1.093.

17. Фазовые превращения при интенсивной пластической деформации как инструмент управления свойствами объемных наноматериалов

Пункт ПФНИ ГАН:

8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости

1) Проведены экспериментальные работы по установлению обобщенных зависимостей разогрева образца при кручении под высоким давлением как функции накопленной деформации и материальных параметров для чистых металлов с ГЦК (медь, никель и алюминий) и ГПУ (цинк, титан и цирконий) решетками. Впервые для целого ряда металлов корректно измерено увеличение температуры образцов в виде диска при деформации кручением. Установлено, что для ГЦК металлов (алюминий, медь и никель) прирост температуры образцов после 10 полных оборотов деформирования составляет 5, 20 и 35 град. С соответственно. Такие же измерения, проведенные для ГПУ материалов (цинк,



титан и цирконий), привели к значениям 5, 24 и 25 град. С соответственно. Теоретическая оценка прироста температуры в предположении, что 90% энергии пластической деформации идет на разогрев образцов, приводит к удовлетворительному согласию с экспериментальными значениями.

2) Методом кручения под высоким давлением получено твердофазное соединение Al и Mg в виде сэндвичей Al-Mg-Al. Проведены экспериментальные исследования градиентной структуры полученных образцов. Показано, что при деформации методом кручения под высоким давлением за ограниченное количество полных оборотов при комнатной температуре образуется интерметаллидное соединение Al₂Mg₃.

Публикации:

Al-Zubaydi A.S.J., Zhilyaev A.P., Wang S.C., Reed P.A.S. Superplastic behaviour of AZ91 magnesium alloy processed by high-pressure torsion. // Mater. Sci. Eng. A. 2015. V. 637. P. 1-11. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.647. DOI: 10.1016/j.msea.2015.04.004.

Zhilyaev A.P., Shakhova I., Morozova A., Belyakov A., Kaibyshev R. Grain refinement kinetics and strengthening mechanisms in Cu-0.3Cr-0.5Zr alloy subjected to intense plastic deformation // Materials Science Engineering A. 2016. V. 654. P. 131-142. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.647. DOI: 10.1016/j.msea.2015.12.038.

Shakhova I., Belyakov A., Zhilyaev A.P., Kaibyshev R. Ultrafine Grain Evolution in a Cu-Cr-Zr Alloy during Warm Multidirectional Forging // Materials Science Forum. 2016. V. 838-839. P. 2683-2688. Scopus, РИНЦ. 10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.2683.

Kawasaki M., Ahn B., Lee H.J., Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Using high-pressure torsion to process an aluminum-magnesium nanocomposite through diffusion bonding // Journal of Materials Research. 2016. V. 31. No. 1. P. 88-99. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 1.579. DOI: <https://doi.org/10.1557/jmr.2015.257>.

Al-Zubaydi A.S.J., Wang S.C., Kucita P., Reed P.A.S., Zhilyaev A.P. Evolution of microstructure in AZ91 alloy processed by high-pressure torsion // Journal of Materials Science. 2016. V. 51. No. 7. P. 3380-3389. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.302, DOI: 10.1007/s10853-015-9652-2.

18. Разработка жаропрочных сложнoleгированных интерметаллидных сплавов на основе гамма-алюминидов титана и сравнение их механических свойств со свойствами никелевых суперсплавов

Пункт ПФНИ ГАН:

45. Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов.

1) Продемонстрирована возможность достижения экстраординарных сверхпластических свойств (относительное удлинение 770-1340%) при относительно низких температурах (T=850-1050 град. С) в одном из самых жаропрочных интерметаллидных гамма-TiAl сплавов - Ti-45Al-8Nb-0.2C (ат. %). Показано, что основным механизмом деформации является зернограничное проскальзывание, контролируемое объемной диффузией в равной



степени алюминия и титана в гамма-TiAl фазе. Сверхпластическая обработка может быть использована при изготовлении сложнопрофильных деталей (лопаток, дисков газотурбинных двигателей) из гамма-TiAl сплавов, что обеспечит высокий выход годного материала и возможность получения однородной и регламентированной структуры.

2) Исследовано влияние различных режимов термической и деформационной обработки гамма-TiAl сплава последнего поколения состава Ti-45Al-5Nb-1Mo-0.2B (ат. %). В результате оптимизации режимов обработки получены различные микроструктурные состояния, продемонстрировавшие высокий уровень механических свойств. Показано, что улучшенные механические свойства достигаются за счет однородной и относительно мелкой структуры с пластинчатой или пластинчато-глобулярной морфологией. Полученные результаты создают предпосылки для разработки литейных и деформационных технологий изготовления деталей газотурбинных двигателей из указанного интерметаллидного сплава.

3) Предложен сплав на основе системы Ti-Al-Fe состава Ti-45Al-5Fe (ат. %), обладающий более высокими технологическими свойствами, чем традиционные гамма-TiAl сплавы. Установлено, что новый сплав в литом состоянии демонстрирует хрупко-вязкий переход при температурах 800-850 град. С, при котором происходит резкий рост пластичности при удлинении, не характерный для традиционных гамма-TiAl сплавов. Улучшенные технологические свойства сплава обусловлены относительно мелкой глобулярно-пластинчатой структурой, полученной уже в литом состоянии, а также, по-видимому, изменением фазового состава сплава от гамма-TiAl+альфа2-Ti3Al к гамма-TiAl+тау2-Al2FeTi с почти полным исключением хрупкой альфа2-Ti3Al фазы. Новый сплав может быть использован как деформируемый гамма-TiAl сплав, пригодный для работы до 700 град. С.

Публикации:

Gaisin R.A., Imayev V.M., Imayev R.M. Recrystallization behavior of boron-modified commercial-purity titanium during hot deformation. *The Physics of Metals and Metallography*. 2015. V. 116. Issue 3. p. 309-319. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.704, DOI: 10.1134/S0031918X15010056.

Гайсин Р.А., Имаев В.М., Имаев Р.М., Гайсина Э.Р. Влияние модифицирования бором на рекристаллизационное поведение технически чистого титана при горячей деформации // *Письма о материалах*. 2015. Т. 5. №2. С. 124-128. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613.

Gaisin R.A., Imayev V.M., Imayev R.M., Gaisina E.R. Microstructure and mechanical properties of ti-tib based short-fiber composite materials manufactured by casting and subjected to deformation processing. *Russian Physics Journal*. 2015. V. 58. Issue 6. p. 848-853. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0580-z.

Nazarova T.I., Imayev V.M., Imayev R.M. Microstructure and mechanical properties of the Ti-45Al-5Fe intermetallic alloy. *Russian Physics Journal*. 2015. V. 58. Issue 6. p. 797-802. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0571-0

Nazarova T.I., Imayev V.M., Imayev R.M., Mulyukov R.R. Improvement of mechanical properties of the Ti-45Al-5Nb-1Mo-0.2B (at %) intermetallic alloy by means of microstructure



controlling, *The Physics of Metals and Metallography*. 2016. V. 117. Issue 10. p. 1038-1046. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.704, DOI: 10.1134/S0031918X16080111.

19. Формирование центров пиннинга магнитного потока в высокотемпературных сверхпроводящих керамиках методами горячей деформации и вторичной рекристаллизации
Пункт ПФНИ ГАН:

8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости

1) Методом дифракции обратно рассеянных электронов исследована микроструктура и текстура керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (Y123), деформированной горячим кручением под квазигидростатическим давлением. Показано, что локальный средний размер зерна не зависит от расстояния до центра образца. Напротив, текстура вдоль радиуса образцов неоднородна: обнаружено наличие кольцеобразного участка с очень низким уровнем текстуры, как на образцах с острой, так и слабой средней текстурой. Полученный результат может быть использован для получения кольцеобразных изделий из высокотемпературных сверхпроводников, обладающих высокими характеристиками сверхпроводимости.

2) Показано, что в ВТСП керамике $Bi(Pb)2223$ высокую плотность частиц вторичных фаз - центров пиннинга магнитного потока можно создать путем кратковременного отжига под квазигидростатическим давлением в температурной области существования метастабильной матричной фазы $Bi(Pb)2223$. Обнаружено, что исходная острая текстура при таком отжиге не размывается. В образце, отожженном при температуре 925 град. С под давлением 10 МПа, обнаружен кольцевой участок материала с высоким содержанием частиц $(Sr,Ca)_{14}Cu_{24}O_{41}$ и $(Sr,Ca)_2CuO_3$. Данный кольцевой участок может иметь высокую токонесящую способность.

Публикации:

Imayev M.F., Kabirova D.B., Pavlova V.V. Microstructure and texture of Y123 ceramics after hot deformation by torsion under pressure. *Russian Physics Journal*. 2015. V. 58. Issue 6. p. 762-766. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0564-z.

Imayev M.F., Parkhimovich N.Yu. Influence of the twist rate under quasi-hydrostatic pressure on the texture and secondary phase particles in $Bi(Pb)2223$ Ceramics. *Russian Physics Journal*. 2015. V. 58. Issue 6. p. 776-780. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0567-9

Parkhimovich N.Yu., Imayev M.F. Influence of the temperature of annealing under quasi-hydrostatic pressure on the texture and phase composition of the $Bi(Pb)2223$ Ceramics. *Russian Physics Journal*. 2015. V. 58. Issue 6. p. 833-837. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 0.667, DOI: 10.1007/s11182-015-0577-7.

Кабирова Д.Б., Павлова В.В., Имаев М.Ф. Аномальный рост зерен в сверхпроводящей керамике $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при высокотемпературной деформации // Письма о материалах. 2016. Т. 6. Вып. 4. С. 338-342. Scopus, РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2016-4-338-342.



Имаев М.Ф., Пархимович Н.Ю. Структура и фазовые превращения при горячей деформации высокотемпературного сверхпроводника Bi(Pb)_{2223} : II. Текстура и микроструктура // Письма о материалах. 2016. Т.6. Вып. 4. С. 343-346. Scopus, РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2016-4-343-346.

20. Научные основы технологий и оборудования для изготовления осесимметричных изделий ответственного назначения из жаропрочных сплавов и сталей

Пункт ПФНИ ГАН:

24. Механика технологий, обеспечивающих устойчивое инновационное развитие инфраструктур и пониженной уязвимости по отношению к возможным внешним и внутренним дестабилизирующим факторам природного и техногенного характера.

1) Определены технологические режимы термической и последующей деформационной обработки новых жаропрочных никелевых сплавов с большим содержанием (более 50 об.%) интерметаллидных фаз, а также широко используемых никелевых сплавов ЭП742 и ЭК79 для формирования однородной структуры в массивных заготовках. Разработаны технологические режимы раскатки хромистых сталей типа ЭИ962-Ш. Разработанные режимы обработки предполагается использовать для изготовления из указанных сплавов и сталей осесимметричных деталей типа колец, дисков, полых изделий ответственного назначения с помощью горячей (сверхпластической) штамповки и последующей сверхпластической раскатки.

2) Разработана компьютерная модель для определения режимов деформационно-термической обработки, обеспечивающей формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры в жаропрочных никелевых сплавах. Результаты моделирования позволили впервые изготовить качественные дисковые образцы с УМЗ структурой из высоколегированного гранульного сплава ЭП 741 НП.

3) Предложен метод промышленного изготовления крупногабаритных осесимметричных деталей газотурбинных двигателей с высокими эксплуатационными свойствами, основанный на использовании ротационных мод деформации. Разработаны технические условия на изготовление дисков и колец газотурбинного двигателя из никелевых сплавов типа ЭП742.

Публикации:

Нагимов М.И., Мухтаров Ш.Х., Утяшев Ф.З., Сухоруков Р.Ю. Разработка рационального режима изотермической деформации хромистой стали 11X11T2B2MФ-Ш // Письма о материалах. 2015. Т. 5. № 2. С. 198-201. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2015-2-198-201.

Mukhtarov Sh.Kh., Utyashev F.Z., Sukhorukov R.Yu. Influence of the deformational heat treatment on the structure and mechanical properties of nickel-iron alloy. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. V. 44. Issue 1. p. 33-39. Scopus, РИНЦ, DOI: 10.3103/S105261881501007.



Сухоруков Р.Ю., Сидоров А.А., Утяшев Ф.З., Ибрагимов А.Р. Определение силовых параметров процесса изотермической раскатки ответственных деталей газотурбинных двигателей // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 1. С. 116-122. РИНЦ, IF РИНЦ 2015 0.402.

Utyashev F.Z., Sukhorukov R.U., Nazarov A.A., Potekaev A.I. The values of strain components and their role in formation of ultrafine-grained and nanosized structure in materials by means of severe plastic deformation. Russian Physics Journal. 2015. V. 58. Issue 1. p. 70-78. Scopus, РИНЦ, DOI: 10.1007/s11182-015-0464-2

Burlakov I.A., Valitov V.A., Ganeev A.A., Zabel'yan D.M., Morozov S.V., Sukhorukov R.Yu., Utyashev F.Z. Modeling the structure formation during hot deforming the billets of the parts of gas-turbine engines made of heat-resistant nickel alloy. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2016. V. 45. Issue 5. p. 469-475. Scopus, РИНЦ, DOI: 10.3103/S105261881605006X.

21. Природа уникальных механических свойств алюминиевых и магниевых сплавов с переходными металлами, подвергнутых интенсивной пластической деформации, и их деградации при деформационно-термических воздействиях

Пункт ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1) Показано, что алюминиевый сплав 1570С с частично рекристаллизованной структурой, содержащей всего около 30% зерен размером 1-2 мкм, демонстрирует в широком температурном интервале эффект высокоскоростной сверхпластичности с удлинениями до 2500% при скоростях деформации около 0.01 1/с. Характеристики сверхпластичности повышаются, если частично рекристаллизованную структуру подвергнуть последующей нагартовке. Обнаруженный эффект обусловлен протеканием в ходе сверхпластического течения рекристаллизации в исходно нерекристаллизованных объемах. Полученный результат представляет интерес для изготовления изделий аэрокосмического назначения методом сверхпластической листовой формовки.

2) На примере сплава МА14 показано, что всесторонняя изотермическая ковка с поэтапным понижением температуры формирует в массивных заготовках из магниевых сплавов однородную структуру с размером зерен 2-4 мкм, равномерным распределением избыточных фаз, слабой текстурой и изотропными параметрами статической прочности при комнатной температуре. Такая структура возникает благодаря тому, что в процессековки материал переходит в сверхпластическое состояние.

Публикации:

Avtokratova E., Sitdikov O., Mukhametdinova O., Markushev M., Murty S.V.S.N., Prasad M.J.N.V., Kashyap B.P. Microstructure and Superplasticity of an Al-Mg-Sc-Zr alloy processed



by ECAP and subsequent cold rolling // *Materials Science Forum*, 2015, V. 830-831, P. 345-349. Scopus, РИНЦ, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.830-831.345

Avtokratova E. V., Sitdikov O., Markushev M. V. Effect of cold/warm rolling following warm ECAP on superplastic properties of an Al 5.8%Mg-0.32%Sc alloy // *Letters on materials*, 2015. 5 (3). 319-323. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613.

Nugmanov D., Sitdikov O., Markushev M. Grain Refinement in the Magnesium Alloy ZK60 during Multi-step Isothermal Forging // *Materials Science Forum*, 2015, V. 830-831, P. 7-10. Scopus, РИНЦ, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.830-831.7.

Avtokratova E., Sitdikov O., Mukhametdinova O., Markushev M., Murty S.V.S.N., Prasad M.J.N.V., Kashyap B.P. Microstructural evolution in Al-Mg-Sc-Zr Alloy during severe plastic deformation and annealing // *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. V. 673. P. 182-194. Wos, Scopus, РИНЦ, IF 3.014, DOI: 10.1016/j.jallcom.2016.02.207.

Sitdikov O., Garipova R., Avtokratova E., Mukhametdinova O. and Markushev M. Structural changes during severe hot forging of the aluminum alloy 1570C // *Letters on Materials*. 2016. V. 6. № 3. P. 200-204. Scopus, РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613.

22. Научные основы неразрушающего контроля и обеспечение качества полых конструкций из титановых сплавов, изготавливаемых совмещенным методом сварки давлением и сверхпластической формовки

Пункт ПФНИ ГАН:

24. Механика технологий, обеспечивающих устойчивое инновационное развитие инфраструктур и пониженной уязвимости по отношению к возможным внешним и внутренним дестабилизирующим факторам природного и техногенного характера.

1) Проведен анализ результатов экспериментальных и расчетных данных по неразрушающему контролю качества плоских образцов полый лопатки из титанового сплава ВТ6 методом цифровой голографической интерферометрии (ЦГИ). Показано, что данный метод позволяет определять такие трудно выявляемые дефекты, как непровары, что является основным преимуществом по сравнению с другими методами неразрушающего контроля. Использование математического моделирования позволило подобрать оптимальный способ нагружения, обеспечивающий высокую вероятность выявления дефекта, а также величину внутреннего давления, не выводящего полую конструкцию за пределы упругой области. С помощью найденных параметров были проведены эксперименты, которые подтвердили результаты расчетного моделирования. Проведен неразрушающий контроль партии лопаток имитаторов, анализ полученных результатов свидетельствуют о хорошем качестве изготовления лопаток имитаторов, так как дефектов конструкции типа непровара не обнаружено.

2) Изучено влияние вакуумного отжига на структуру и микротвердость приповерхностных слоев плоских образцов титанового сплава ВТ6 с антисварочными покрытиями из BN, Y₂O₃ и без них. Методом акустической эмиссии изучено зарождение трещин при деформации изгибом до начала пластического течения. Установлено, что при холодной



деформации из приповерхностного измененного слоя возникают и распространяются вглубь материала трещины. Наименьшая толщина измененного слоя и большая трещиностойкость обеспечиваются покрытием Y_2O_3 .

Публикации:

Ахунова А.Х., Дмитриев С.В., Сафиуллин А.Р., Сафиуллин Р.В., Сафин Ф.Ф. Измерение и расчет полей перемещений трехслойной полый конструкции для целей неразрушающего контроля ее качества методом цифровой голографической интерферометрии // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2014. Т. 1. № 2. С. 196-201. РИНЦ, IF РИНЦ 2014: 0.683.

Сисанбаев А.В., Круглов А.А., Лутфуллин Р.Я. Мухаметрахимов М.Х. 3D-контроль рельефа поверхности в полых гофрированных конструкциях из титановых сплавов после сверхпластической формовки // Химическая физика и мезоскопия. 2015. № 1. С. 117-120. РИНЦ, IF РИНЦ: 0.359.

Круглов А.А., Мусина Р.Ш., Еникеев Ф.У. Компьютерное моделирование процесса сверхпластической формовки полых трехслойных конструкций // Технология машиностроения. 2015. № 2. С. 57-62. РИНЦ, IF РИНЦ: 0.192.

Лутфуллин Р.Я., Круглов А.А., Мухаметрахимов М.Х., Руденко О.А. Низкотемпературная сверхпластичность и изготовление полых конструкций из титанового сплава ВТ6 // Письма о материалах. 2015. Т. 5. № 2. С. 185 - 188. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613.

Круглов А.А., Тулупова О.П., Еникеев Ф.У. Анализ режимов сверхпластической формовки круглой мембраны с учетом влияния порогового напряжения // Технология машиностроения. 2016. № 8. С. 15-20. РИНЦ, IF РИНЦ: 0.192.

23. Структура и механические свойства объемных наноматериалов: теория и атомистическое моделирование

Пункт ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1) Изучен широкий спектр квазидвумерных и трехмерных наноматериалов на основе графена, методом молекулярной динамики найдены их равновесные и устойчивые конфигурации, исследованы их структура и свойства под действием упругой и необратимой деформации, а также температуры. В числе изученных квазидвумерных материалов плоский графен, графен со складками, частично или полностью наводороженный графен, гетероструктуры на основе графена в сочетании с моноатомным слоем силицена или дисульфидом молибдена. Рассмотрены также такие углеродные нанокластеры, как онионы и гибридные sp^2 - sp^3 структуры, полученные сшивкой валентными связями различных фуллеренов. Среди изученных объемных углеродных наноматериалов стоит отметить сшитые преимущественно силами ван-дер-ваальса sp^2 структуры, такие как фуллерены, клубки УНТ и скомканые чешуйки графена, а также сшитые валентными связями раз-



личные фуллереноподобные молекулы. Показано существование большого многообразия наноматериалов на основе графена с сильно различающимися свойствами и предложены пути модификации их структуры и свойств путем деформации и нагрева.

2) На примере графана впервые представлено доказательство существования дискретных бризеров в кристаллическом твердом теле, основанное на первопринципных расчетах, использующих функционал электронной плотности. Этот результат имеет принципиальное значение, поскольку все предшествующие численные результаты по дискретным бризерам были получены методом молекулярной динамики, опирающимся на эмпирические меж-атомные потенциалы.

3) Методом молекулярной динамики проведена оценка механических свойств смятого графена, подвергнутого гидростатическому или одноосному сжатию. Показано, что смятый графен является негуковской средой, демонстрирующей нелинейную зависимость напряжений от плотности. Это связано со структурными изменениями, протекающими в материале даже при небольших напряжениях. Из анализа кривых разгрузки следует, что при всестороннем сжатии предел упругости достигается при меньшей плотности, чем при одноосном сжатии. Это объясняется образованием на листах графена изломов складок при всестороннем сжатии, в то время как при одноосном сжатии, в основном, формируются складки без изломов, с меньшим повреждением решетки графена. Полученные результаты важны для разработки наноустройств, использующих смятый графен, таких как суперконденсаторы, накопители водорода и др.

Публикации:

Baimova J.A., Liu B., Dmitriev S.V., Srikanth N., Zhou K. Mechanical properties of bulk carbon nanostructures: effect of loading and temperature // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2014. V. 16. P. 19505-19513. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 4.449. DOI: 10.1039/c4cp01952k.

Savin A.V., Korznikova E.A., Dmitriev S.V. Scroll configurations of carbon nanoribbons. // *Phys. Rev. B.* 2015. V. 92. P. 035412-12. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 3.718. DOI: 10.1103/PhysRevB.92.035412.

Baimova J. A., Rysaeva L. Kh., Liu B., Dmitriev S.V., Zhou K. From flat graphene to bulk carbon nanostructures // *Phys. stat. solidi (b).* 2015. V. 252. №7. P. 1502-1507. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 1.522. DOI: 10.1002/pssb.201451654.

Baimova J.A., Fan Q., Zeng L., Wang Z., Dmitriev S.V., Feng X., Zhou K., Atomic structure and energy distribution of collapsed carbon nanotubes of different chiralities. // *Journal of Nanomaterials.* 2015. V. 2015. Article ID 186231, WoS, Scopus, РИНЦ, IF 1.758. DOI: 10.1155/2015/186231.

Babicheva R.I., Dmitriev S.V., Zhang Y., Kok S.W., Srikanth N., Liu B., Zhou K. Effect of grain boundary segregations of Fe, Co, Cu, Ti, Mg and Pb on small plastic deformation of nanocrystalline Al. // *Computational Materials Science.* 2015. V. 98. P. 410-416. WoS, Scopus, РИНЦ, IF 2.086. DOI: 10.1016/j.commatsci.2014.11.038.

24. Научные основы линейной сварки трением однородных и разнородных материалов



Пункт ПФНИ ГАН:

23. Механика деформирования и разрушения материалов, сред. изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1) Впервые в России создана лабораторная установка линейной сварки трением на базе сервогидравлической испытательной машины Schenck. Исследована циклическая трещиностойкость титанового сплава ВТ6 с различной микроструктурой, а также его соединений, выполненных линейной сваркой трением. Показано, что циклическая трещиностойкость сварных соединений не уступает трещиностойкости основного металла титанового сплава ВТ6 с микрокристаллической микроструктурой. Получено твердофазное соединение образцов магнитотвердого сплава 25ХК15 с электротехнической сталью 10880. В испытаниях на трехточечный изгиб сварное соединение демонстрирует предел прочности 1200 МПа и пластичность 3%, сопоставимые с прочностью и пластичностью сплава 25ХК15. Полученный результат может быть использован при разработке крупногабаритных роторов электродвигателей большой мощности.

2) На примере фрагмента блиска с полноразмерными лопатками из титанового сплава ВТ6 продемонстрирована возможность линейной сварки трением блиска компрессора газотурбинного двигателя. Сформулированы принципы и этапы работ по отработке технологии сварки трением блисков.

Публикации:

Абрамова Е.А., Корзникова Г.Ф., Корзников А.В., Хуснуллин А.М., Николаев В.В., Кашаев Р.М. Микроструктура и механические свойства сварного соединения магнитотвердого сплава 25Х15К со сталью 10880 полученного линейной сваркой трением // Письма о материалах. 2015. Т. 5. Вып 1. С. 90-93. РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2015-1-90-93.

Хуснуллин А.М., Кашаев Р.М. Управление линейной сваркой трением // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 3. С. 227-230. Scopus, РИНЦ, IF (РИНЦ, 2015) 0.613. DOI: 10.22226/2410-3535-2016-3-227-230.

Рубаник В.В., Кашаев Р.М., Рубаник В.В. младший. Линейная сварка трением TiNi сплава // Инновационные технологии в машиностроении: Материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию академика Ящерицына и 40-летию машиностроительного факультета ПГУ, Новополоцк, Республика Беларусь 28-29 окт. 2015 г. С. 167-170.

Хуснуллин А.М., Кашаев Р.М. Компьютерное управление линейной сваркой трением // Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии. Проблемы и решения». 2016. С. 352-355.

13. Защищенные диссертационные работы, подготовленные период с 2013 по 2015 год на основе полевой опытной работы учреждения. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».



Информация не предоставлена

14. Перечень наиболее значимых публикаций и монографий, подготовленных сотрудниками научной организации за период с 2013 по 2015 год

Статьи

1. Imayev V., Gaisin R., Rudskoi A., Nazarova T., Shaimardanov R., Imayev R. Extraordinary superplastic properties of hot worked Ti-45Al-8Nb-0.2C alloy // *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. V. 663. P. 217-224. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.11.228. IF 3.014 (WoS, Scopus, РИНЦ)
2. Avtokratova E., Sitdikov O., Mukhametdinova O., Markushev M., Murty S.V.S.N., Prasad M.J.N.V., Kashyap B.P. Microstructural evolution in Al-Mg-Sc-Zr Alloy during severe plastic deformation and annealing // *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. V. 673. P. 182-194. DOI: 10.1016/j.jallcom.2016.02.207. IF 3.014 (WoS, Scopus, РИНЦ)
3. Сафаров И.М., Корзников А.В., Галеев Р.М., Сергеев С.Н., Гладковский С.В., Пышминцев И.Ю. Аномалия температурной зависимости ударной вязкости низкоуглеродистой стали с ультрамелкозернистой структурой // *Доклады академии наук*. 2016. Т. 466. № 3. С. 289-292. DOI: 10.7868/S0869565216030117 (WoS, Scopus, РИНЦ)
4. Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Long-term self-annealing of copper and aluminium processed by high-pressure torsion // *Journal of Materials Science*. 2014. V. 49 P. 6529-6535. DOI 10.1007/s10853-014-8208-1. IF 2.302 (WoS, Scopus, РИНЦ)
5. Chechin G.M., Dmitriev S.V., Lobzenko I.P., and Ryabov D.S. Properties of discrete breathers in graphene from ab initio simulations // *Physical Review B*. 2014. V. 90. Art. No. 045432. DOI: 10.1103/PhysRevB.90.045432. IF 3.718 (WoS, Scopus, РИНЦ)
6. Korneva A., G. Korznikova, Berent K., A. Korznikov, R. Kashaev, Bogucka J., Sztwiertnia K. Microstructure evolution and magnetic properties of hard magnetic FeCr22Co15 alloy subjected to tension combined with torsion // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. V.615. P. S300-S303. DOI: 10.1016/j.jallcom.2014.01.207. IF 3.014 (WoS, Scopus, РИНЦ)
7. Liu B., Baimova J.A., Reddy C.D., Dmitriev S.V., Law W.K., Feng X.Q., Zhou K. Interface thermal conductance and rectification in hybrid graphene/silicene monolayer // *Carbon*. 2014. V.79. P. 236 –244. DOI: 10.1016/j.carbon.2014.07.064. IF 6.198 (WoS, Scopus, РИНЦ)
8. Murzinova M.A., Shagiev M.R., Srivastava D., Manikrishna K.V., Neogy S. and Dey G.K. Effect of hydrogen treatment on properties and structure development in Zr-2.5Nb alloy // *Materials Science & Engineering A*. 2014. V. 608. P. 25-34. DOI: 10.1016/j.msea.2014.04.016. IF 2.647 (WoS, Scopus, РИНЦ)
9. Baimova J.A., Liu B., Dmitriev S.V., Srikanth N., Zhou K. Mechanical properties of bulk carbon nanostructures: effect of loading and temperature // *Phys. Chem. Chem. Phys*. 2014. V. 16. P. 19505-19513. DOI: 10.1039/c4cp01952k. IF 4.449 (WoS, Scopus, РИНЦ)
10. Wang L., Wang Y.C., Zhilyaev A.P., Korznikov A.V., Li S.K., Korznikova E., Langdon T.G. Microstructure and texture evolution in ultrafine-grained pure Ti processed by equal-channel



angular pressing with subsequent dynamic compression // Scripta Mater. 2014. V. 77. P. 33-36.
DOI: 10.1016/j.scriptamat.2014.01.011. IF 3.305 (WoS, Scopus, РИНЦ)

Монографии, сборники, учебные пособия

1. Ruslan Z. Valiev, Alexander P. Zhilyaev, Terence G. Langdon. Bulk Nanostructured Materials: Fundamentals and Applications // TMS-Wiley. 2013. 460 p. ISBN 978-1-118-09540-9. Тираж не установлен (издается по мере продажи).

2. Утяшев Ф.З., Рааб Г.И. Деформационные методы получения и обработки ультрамелкозернистых и наноструктурных материалов // Уфа: Гилем. НИК Башк. энцикл. 2013. 376 с. ISBN 978-5-88185-115-6. 200 экз.

3. Сверхпластичность ультрамелкозернистых сплавов: эксперимент, теория и технологии / Р.Р. Мулюков, Р.М. Имаев, А.А. Назаров и др.; под ред. Р.Р. Мулюкова, Р.М. Имаева, А.А. Назарова, М.Ф. Имаева, В.М. Имаева – М.: Наука, 2014. 284 с. ISBN 978-5-02-039081-2. 300 экз.

4. Ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы: Сборник тезисов докладов Открытой школы-конференции стран СНГ. 6-10 октября 2014 г., г. Уфа / отв. ред. д-р физ.-мат. наук А.А. Назаров. — Уфа: РИЦ БашГУ. 2014. 262 с. ISBN 978-5-7477-3640-5. 180 экз.

5. Мулюков Р.Р., Баимова Ю.А. Углеродные наноматериалы. Учебное пособие. Уфа, РИЦ БашГУ. 2015. 160 с. ISBN 978-5-7477-3825-6. 50 экз.

15. Гранты на проведение фундаментальных исследований, реализованные при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского гуманитарного научного фонда, Российского научного фонда и другие

Общее количество научно-исследовательских грантов - 21.

Наиболее значимые научные гранты:

1) РФФ № 14-13-00982 «Управление механическими, физическими и функциональными свойствами графена путем его упругой и неупругой деформации» (2014-2016 гг.). 6200 тыс. руб.

Методом молекулярной динамики проведена оценка механических свойств смятого графена, подвергнутого гидростатическому или одноосному сжатию. Показано, что смятый графен является негуковской средой, демонстрирующей нелинейную зависимость напряжений от плотности. Это связано со структурными изменениями, протекающими в материале даже при небольших напряжениях. Из анализа кривых разгрузки следует, что при всестороннем сжатии предел упругости достигается при меньшей плотности, чем при одноосном сжатии. Это объясняется образованием на листах графена изломов складок при всестороннем сжатии, в то время как при одноосном сжатии, в основном, формируются складки без изломов, с меньшим повреждением решетки графена.

2) РФФИ № 13-08-12200-офи_м «Исследование природы формирования твердофазного соединения интерметаллидного сплава на основе Ni3Al с жаропрочным сплавом ЭП975



при термомеханическом воздействии и его влияние на физико-механические и эксплуатационные характеристики». (2013-2015). 4500 тыс. руб.

Исследовано влияние режимов термомеханического воздействия на структуру и свойства литейных интерметаллидных сплавов на основе Ni₃Al. Исследовано влияние температуры и степени деформации на формирование твердофазного соединения сплава ЭП975 с ИС на основе Ni₃Al. Проведено экспериментальное и математическое моделирование влияния формы рельефа свариваемых поверхностей интерметаллидного сплава и сплава ЭП975 и режимов деформации на формирование твердофазного соединения. Установлена корреляция между способом (режимами) получения твердофазного соединения (ТФС) литейного интерметаллидного сплава на основе Ni₃Al и деформируемого никелевого сплава и строением зоны ТФС, ее протяженностью, характером эволюции структуры и фазового состава при переходе от монокристаллической структуры к структуре деформированного металла. Изучено влияние термического воздействия в процессе формирования сварного соединения на эволюцию структуры ТФС.

3) РФФИ № 15-38-20654 мол_а_вед «Сверхпластичность криодеформированных термически упрочняемых алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg-x» (2015-2016 г.г.). 4000 тыс. руб.

Изучена эволюция структуры, а также изменение вторичных выделений - алюминидов переходных металлов и основных упрочняющих фаз, при обработке алюминиевых сплавов типа Д16, включающей гомогенизацию, горячую прокатку, закалку, гетерогенизирующий отжиг, криогенную прокатку и последующий отжиг в печи или селитряной ванне. Показаны основные типы формирующихся структур, изучены особенности их строения и влияние на механические свойства.

4) РФФИ № 13-08-92700-ИНД_а «Природа экстремально высоких и низких сверхпластических удлинений интенсивно деформированного ультрамелкозернистого Al-Mg-Sc-Zr сплава». (2013-2014). 1100 тыс.руб.

Исследована структура сплава 1570С на различных стадиях его термомеханической обработки, начиная с гомогенизации слитка и заканчивая отжигом РКУ прессованного и прокатанного материала. Установлено, что отжиг литого сплава вплоть до предплавильных температур ведет к постепенному укрупнению Al₃(Sc,Zr) дисперсоидов, однако их когерентность с матрицей преимущественно не нарушается. На начальных стадиях РКУП формируется смешанная структура, состоящей на ~30% из областей новых мелких зерен размером около 1 мкм, располагающихся вдоль границ исходных зерен, которая с увеличением степени деформации трансформируется в однородную (на ~90%) ультрамелкозернистую структуру с тем же размером зерна. При последующем отжиге наблюдается нормальный рост зерен мелкозернистой фракции, сопровождаемый более быстрым укрупнением дисперсоидов, по сравнению с литым состоянием, и потерей их когерентности. Холодная прокатка после РКУП ведет к развитию сильнодеформированной структуры с повышенной плотностью дислокационных структур в мелкозернистой фракции. Отжиг



холоднокатаных состояний сплава ведет к развитию процессов статического возврата и рекристаллизации.

Изучены особенности сверхпластического поведения сплава 1570С в вышеуказанных состояниях. Установлено, что сплав демонстрирует уникальные показатели высокоскоростной сверхпластичности (относительное удлинение до 2500 % при скорости деформации около 0,01 1/с и температуре 520 град. С) даже при наличии в его исходной структуре объемной доли мелких зерен всего 30%. Причина - дополнительное измельчение зерен на ранних стадиях сверхпластической деформации за счет динамической рекристаллизации. Такое поведение сплава объяснено с позиций обнаруженных изменений параметров его структуры. Сделан вывод об определяющей роли параметров (морфологии) частиц алюминидов переходных металлов на показатели СП сплава.

5) РФФИ № 14-08-97061-р_поволжье_а «Экспериментальное и компьютерное моделирование влияния профиля поверхности на качество твердофазного соединения жаропрочных сплавов на основе никеля и титана с монокристалльным сплавом на основе интерметаллида на основе Ni3Al и TiAl». (2014-2016). 600 тыс. руб.

Впервые методом сварки давлением в условиях низкотемпературной сверхпластичности получено твердофазное соединение из интерметаллидного сплава на основе TiAl с жаропрочным никелевым сплавом ХН58МБЮД (ЭК61) через прослойку из титанового сплава ВТ6. Выявлены особенности микроструктуры, характер и направленность диффузионных потоков в зонах твердофазных соединений никелевый сплав ЭК61-титановый сплав ВТ6 и ВТ6-интерметаллидный сплав на основе TiAl. Изучено влияние рельефа свариваемых поверхностей на интенсивность деформаций и сдвиговые компоненты деформации. Выявлены оптимальные сочетания рельефов сварных поверхностей, которые позволяют устранить застойные зоны деформации и, как следствие, повысить качество твердофазного соединения.

Установлено, что с увеличением степени деформации в зоне соединения деформируемого никелевого сплава ЭП975 с интерметаллидным сплавом на основе Ni3Al формируется извилистая граница соединения. Показано, что максимальная прочность сварных образцов достигается после термической обработки и составляет 0,9 от прочности интерметаллидного сплава. Впервые методом сварки давлением в условиях сверхпластичности изготовлены модельные образцы имитатора биметаллической детали диск-вал из разных жаропрочных сплавов ЭП975 и ЭК79.

6) РФФИ № 14-02-31699-мол_а «Исследование гигантских эффектов магнитоуправляемой деформации в объемных ультрамелкозернистых сплавах Гейслера, полученных методом всесторонней изотермическойковки». (2014-2015). 800 тыс. руб.

Исследована эволюция микроструктуры и мартенситного превращения в сплавах Гейслера после интенсивной пластической деформации кручением под давлением. Показана зависимость среднего размера рекристаллизованных зерен от степени отжига деформированного образца, в интервале температур до 1073 К. В результате такой обработки



в сплаве подавляется мартенситное превращение, которое вновь начинает реализовываться только после отжига при 773 К, когда средний размер рекристаллизованных зерен достигает величины порядка 1 мкм.

Исследование температурного интервала пластичности сплавов данной системы проведено методом осадки образца при различных температурах. Показано, что оптимальной температурой для пластической деформации сплавов является температура несколько ниже температурного интервала перехода сплава из упорядоченной фазы L21 в разупорядоченную фазу B2. Для сплавов исследуемой системы это интервал температур 923 К – 973 К.

Деформационная обработка сплавов Гейслера методом всесторонней изотермическойковки при температурах 953 К – 923 К приводит к тому, что в слитке формируется мелкозернистая структура со средним размером зерен порядка 1 мкм.

7) РФФИ № 14-02-97004-р_поволжье_а «Формирование наноразмерной зеренной структуры и кристаллографической текстуры в ходе криогенной деформации металлов». (2014-2016). 600 тыс. руб.

Изучены особенности процессов структурообразования и возможности формирования нанокристаллической микроструктуры в ходе криогенной деформации материалов с низкой ЭДУ. В качестве материала исследования использовалась латунь Л70. Установлено, что основным механизмом измельчения зеренной структуры в ходе криогенной деформации являлось механическое двойникование и образование полос сдвига. С другой стороны, обнаружено, что фрагментация структуры была в значительной мере заторможена вследствие подавления двойного поперечного скольжения дислокаций, и, как следствие, затруднения формирования дислокационных границ.

Изменение пути деформирования посредством перекрестной прокатки способствует активизации процессов двойникования и образования полос сдвига в зернах со стабильной кристаллографической ориентировкой и, таким образом, несколько улучшает однородность формируемой СМК структуры.

В ходе отжига криогенно деформированного материала в диапазоне температур (0.30-0.38 Тпл) зеренная структура в целом стабильна, и микроструктурные изменения ограничиваются образованием кластеров атомов примесей на дефектах упаковки, т.е. формирование атмосфер Сузуки. В интервале (0.46-0.55 Тпл) в материале развивается прерывистая рекристаллизация, которая способствует кардинальным изменениям в зеренной структуре, спектре разориентировок и кристаллографической текстуре. При температурах термообработки (0.63 Тпл) и выше отмечен рост зерен по нормальному механизму, который не ведет к принципиальным изменениям в текстуре и спектре разориентаций.

Криогенная прокатка с последующим рекристаллизационным отжигом при (0.55 Тпл) способствует формированию однородной СМК структуры со средним размером зерен 0,8 мкм, долей большеугловых границ 90% и относительно слабой кристаллографической текстурой.



8) РФФИ № 14-08-31344- мол_а «Экспериментальный и теоретический анализ вклада кристаллографической текстуры в уровень и анизотропию параметров статической прочности листов из ультрамелкозернистого магниевого сплава». (2014-2015). 800 тыс. руб.

Исследовано влияние кристаллографической текстуры на уровень и анизотропию прочности магниевого сплава МА14 после обработки, сочетающей всестороннюю изотермическую ковку (ВИК) и изотермическую прокатку.

Установлено, что обработка сплава методом ВИК позволяет получать объемные заготовки с однородной мелкозернистой структурой, слабой пирамидальной текстурой и равномерным распределением частиц вторых фаз. С увеличением степени деформации при последующей прокатке сплава происходит дополнительное измельчение зерен. При этом при прокатке мелкозернистого сплава с исходной пирамидальной текстурой {11-22} независимо от температуры прокатки происходит формирование базисной текстуры {0001}, интенсивность которой возрастает со степенью деформации. Структурные исследования в продольной плоскости листов показали, что объемная доля, размер и морфология грубых частиц вторых фаз в значительной степени зависят от температуры прокатки.

Проведены испытания на одноосное растяжение при комнатной температуре и анализ параметров прочности и пластичности листов и их анизотропии. Обнаружено, что прокатка со степенью деформации $\epsilon=0,51$ сопровождается изотропным увеличением предела текучести сплава.

Анализ природы механического поведения сплава и оценка вкладов текстурного и структурного упрочнений выполнена с использованием компьютерного моделирования одноосного растяжения сплава и модели вязкопластического течения (ВПТ). Результаты модельных экспериментов позволили выявить упрочняющий вклад, обусловленный только изменением текстуры сплава при прокатке. Оказалось, что текстурное упрочнение обеспечивает не более 50% реально наблюдаемого упрочнения листов, имеет изотропный характер и обусловлено активизацией небазисных систем скольжения. Формирование и усиление базисной текстуры при прокатке приводило к активизации пирамидальных систем скольжения и снижению активности базисных с 97 до 75%.

9) РФФИ № 14-02-31160-мол_а «Ультразвуковая обработка как способ управления механическими свойствами ультрамелкозернистых металлов, подвергнутых интенсивной деформации». (2014-2015). 800 тыс. руб.

Проведено экспериментальное и теоретическое исследование возможности применения постдеформационной ультразвуковой обработки (УЗО) ультрамелкозернистых металлов для улучшения их пластичности с сохранением или даже улучшением прочностных свойств. УМЗ структура в металле была предварительно сформирована равноканальным угловым прессованием (РКУП).

Установлено, что УЗО приводит к одновременному увеличению предела прочности и удлинения до разрушения, а также существенно повышает ударную вязкость УМЗ никеля,



полученного РКУП. При этом эффект зависит от амплитуды УЗО - существует оптимальная амплитуда, при которой прирост прочности и пластичности максимален. Показано, что причиной обнаруженного эффекта является релаксация неравновесной структуры УМЗ металла.

Проведено моделирование поведения дислокаций в УМЗ материале в рамках двумерной модели. Расчеты показали, что под воздействием ультразвука релаксация структуры происходит иначе, чем при отсутствии ультразвукового воздействия. При УЗО все дислокации оказываются в границах зерен и компенсируют напряжения дисклинационного квадруполья, что приводит к релаксации внутренних напряжений

10) Грант президента Российской Федерации для поддержки молодых ученых МК-5283.2015.2 (2015-2016 гг.). Анализ динамики объемных sp^2 углеродных наноматериалов с учетом ван-дер-ваальсовых взаимодействий для разработки новых наноустройств на их основе. 1200 тыс. руб.

Предложена модель молекулярной цепи, движущейся в плоскости, что позволяет эффективно описывать складчатые и скрученные упаковки длинных графеновых нанолент за счет значительного снижения числа учитываемых степеней свободы системы. При формулировке модели были учтены изгибная и продольная жесткости наноленты, а также ван-дер-ваальсовы взаимодействия. Модель была применена для описания набора возможных стационарных состояний и для расчета низкочастотных мод колебаний изолированных однослойных графеновых нанорулонов в зависимости от длины наноленты. Изучены возможные конформационные изменения нанорулонов за счет тепловых флуктуаций и проанализирована их термическая стабильность. Сопоставлены плотности фононных состояний для графеновых нанорулонов, рассчитанные с использованием как полноатомной модели, так и модели цепи. Показано, что простая модель дает прекрасное описание плотности фононных состояний нанорулона, с незначительной погрешностью лишь в низкочастотной (ниже 100 1/см) и высокочастотной (выше 1450 1/см) областях спектра. С помощью разработанной модели плоской цепи рассчитан коэффициент линейного теплового расширения для внешнего радиуса нанорулона из анализа его долгосрочной динамики. Оказалось, что нанорулоны имеют аномально высокий коэффициент теплового расширения: на два порядка выше, чем у графита.

16. Гранты, реализованные на основе полевой опытной работы организации при поддержке российских и международных научных фондов. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».

Информация не предоставлена

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ



Наиболее значимые результаты поисковых и прикладных исследований

17. Поисковые и прикладные проекты, реализованные в рамках федеральных целевых программ, а также при поддержке фондов развития в период с 2013 по 2015 год

1) ФЦП «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период 2015 года»

Договор на СЧ НИР с ОАО УАП «Гидравлика» на тему «Расчет запаса прочности основных элементов конструкции ВСУ-120, подбор конструкционных материалов, технологических мероприятий и конструктивных решений по обеспечению требуемого запаса прочности. Анализ точности изготовления, механических характеристик, требуемого оборудования и оснастки для внедрения в серийное производство предлагаемых решений», сумма 8.5 млн. руб., 2013 г.

2) ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»

Договоры с Институтом машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН) в рамках проекта «Разработка научных основ высокоэффективной технологии и оборудования для изготовления в условиях сверхпластичности широкой номенклатуры полых валов газотурбинных двигателей из жаропрочных сплавов и сталей»:

2.1. «Разработка научных основ высокоэффективной технологии и оборудования для изготовления в условиях сверхпластичности типовых полых валов газотурбинных двигателей из авиационных материалов», сумма 2.8 млн. руб., 2014 г.

2.2. «Теоретические исследования процесса измельчения зерен для формирования ультрамелкозернистой структуры в металлах и однофазных сплавах. Разработка эскизной конструкторской документации на основные узлы макета СРВ: камеру нагрева, прижим задней бабки и оснастки, обеспечивающих термомеханические параметры раскатки полых валов», 2.2 млн. руб., 2015 г.

2.3. «Экспериментальные исследования процесса раскатки валов. Физическое моделирование», 1.5 млн. руб., 2015 г.

3) ФЦП «Развитие гражданской авиационной техники на 2002-2010 годы и на период до 2015 года»

Договор с ОАО «Авиадвигатель» по теме: «Проведение исследований качества изготовления полых широкохордной рабочей лопатки вентилятора 100-01-020», 0.45 млн. руб., 2014 г.

3.1. Договор с ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» на тему «Разработка конструкторской документации на полую широкохордную лопатку вентилятора и конструкторское сопровождение ее изготовления», 11 млн. руб., 2015 г.



3.2. Договор с АО «Научно-производственный центр газотурбостроения «Салют» «Технология производства (технологических процессов и оборудования) демонстраторов и узлов опытного образца перспективного двигателя 22-го этапа ПАК ФА», 8.0 млн. руб., 2015 г.

3.3. Договор с ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А.Соловьева» «Исследование деформируемости, микроструктуры и свойств деформированных заготовок из экспериментального дискового сплава СДЖС-15», 0.45 млн. руб., 2015 г.

4) ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2007-2010 годы и на период до 2015 года»

Договор на СЧ НИР «Разработка технологии изготовления металлической защиты входной кромки лопаток компрессора из полимерных композиционных материалов" с ОАО «НПО «Сатурн», 3.0 млн. руб., 2013 г.

Внедренческий потенциал научной организации

18. Наличие технологической инфраструктуры для прикладных исследований

Инновационный центр ИПСМ РАН

Инновационный центр ИПСМ РАН создан для доработки прикладных научных результатов, полученных в институте, доведения их до готовых технологий и изготовления опытных партий изделий, для разработки и изготовления оснастки и других средств технологического обеспечения реализации результатов исследований, а также для мелкосерийного производства инновационной продукции.

Центр располагает уникальным оборудованием для производства объемных и листовых наноструктурных полуфабрикатов, изделий с использованием эффекта сверхпластичности, других способов обработки давлением, а также оборудованием для механической обработки.

Инновационный центр состоит из секторов механической обработки, изотермической штамповки, изотермической раскатки, литейного сектора и сектора нагрева.

Сектор изотермической штамповки оснащен гидравлическими прессами усилием 100, 400, 630 и 1600 т с изотермическими штамповыми блоками, которые используются для производства объемных полуфабрикатов с регламентированной структурой из различных металлов и сплавов, штамповки изделий сложной формы в условиях сверхпластичности. Сектор разрабатывает опытные технологические процессы горячей объемной штамповки; проектирует и изготавливает необходимую штамповую оснастку.

Сектор изотермической раскатки имеет уникальный раскатной стан СРЖД-800 для изотермической раскатки осесимметричных изделий из жаропрочных сплавов и модернизированный давяльный станок ПНС-600 для ротационной вытяжки деталей с развитыми внутренними полостями. Разрабатываемые технологии основаны на методе горячей ло-



кальной деформации в состоянии сверхпластичности и являются уникальными, не имеющими аналогов в мире.

Сектор прокатки оснащен прокатными станами для производства листовых и прутковых полуфабрикатов. Лабораторные прокатные станы используются для отработки технологий пакетной и изотермической прокатки листов и слоистых композитов.

Сектор механической обработки оснащен токарными станками, вертикальнофрезерными станками с ЧПУ, карусельными станками с ЧПУ, плоскошлифовальными станками, круглошлифовальными станками, внутреннешлифовальными станками и др. Сектор обслуживает потребности подразделений института по изготовлению образцов, технологической оснастки, а также выполняет заказы сторонних организаций по механической обработке.

Литейный сектор располагает плавильными и прокаточными печами, а также технологическим оборудованием, позволяющим производить оболочковые формы литья по выплавляемым моделям по неполному технологическому циклу. В литейном секторе изготавливают мелкие серии отливок литьем в землю, кокиль или по выплавляемым моделям из черных и цветных металлов и сплавов.

В 2015 году для выполнения научно-исследовательских работ и разработки инновационных технологий в интересах предприятий реального сектора экономики в инновационном центре была создана исследовательская лаборатория «Фиолент-Сверхпластичность».

Объем работ, выполненных инновационным центром ИПСМ РАН в 2013-2015 г., превысил 30 миллионов рублей.

Инновационный центр участвует в реализации всех проектов прикладного характера и договоров, в которых используется технологическое оборудование.

В 2013-2015 гг. при участии Инновационного центра были получены следующие наиболее важные прикладные результаты.

1) Разработана и доведена до уровня промышленного внедрения первая отечественная технология изготовления полой лопатки вентилятора из титанового сплава для авиационного двигателя ПД-14. С использованием оснастки, изготовленной и установленной в инновационном центре, проведены все этапы работы по разработке технологии, изготовлена опытная партия лопаток, которая была установлена в двигатель-демонстратор технологий и успешно прошла испытания. Двигатель ПД-14 с полыми лопатками вентилятора, изготовленными по разработанной технологии, прошла стендовые, полевые испытания и в настоящее время успешно проходит полетные испытания в составе «летающей лаборатории».

2) На основе модернизации стана СРД-800, также разработанного ИПСМ РАН, создан стан СРЖД-800 для изотермической раскатки дисков и колец из жаропрочных сплавов на основе никеля, титана и железа, включая современные высоколегированные никелевые сплавы. Раскатной стан СРЖД-800 позволяет изготавливать диски и кольца газотурбинных



двигателей с коэффициентом использования металла (КИМ), существенно превышающим КИМ используемых в настоящее время на предприятиях технологий.

3) Разработаны уникальные технологии изготовления штамповок корпусных деталей различной номенклатуры для газовых центрифуг для обогащения урана, обеспечивающие высокие механические свойства деталей. Изготовлена опытная партия деталей.

19. Перечень наиболее значимых разработок организации, которые были внедрены за период с 2013 по 2015 год

1) Разработка «Режимы деформационно-термической обработки высокопрочной стали для изготовления приводных дисков гистерезисных двигателей».

В 2015 г. Институтом изготовлена и передана ПАО «Ковровский механический завод» опытная партия (1380 шт.) экспериментальных приводных дисков для высокоэкономичного гистерезисного двигателя. В настоящее время проводятся промышленные испытания изготовленных изделий.

Одной из главных областей применения гистерезисных двигателей является использование их в атомной промышленности в качестве приводов газовых центрифуг для обогащения урана. Разработанный метод деформационно-термической обработки стали, применяемой для изготовления приводных дисков гистерезисных двигателей, приводит к повышению их эксплуатационных характеристик, что в конечном итоге ведет к повышению эффективности работы газовых центрифуг: снижению энергопотребления на 10%; повышению надежности работы агрегата; увеличению мощности привода центрифуги.

Бизнес партнеры: предприятия атомной промышленности России - ПАО «Ковровский механический завод», ООО «НПО «Центротех» (прежние названия - ННКЦ, УЗГЦ) и др.

2) Разработка «Полая широкохордная лопатка вентилятора из титанового сплава для перспективного авиационного двигателя ПД-14»

ИПСМ РАН разработана первая отечественная технология изготовления полой лопатки вентилятора из титанового сплава для авиационного двигателя ПД-14. С использованием оснастки, изготовленной и установленной в инновационном центре, проведены все этапы работы по разработке технологии, изготовлена опытная партия лопаток. Двигатель ПД-14 с полыми лопатками вентилятора, изготовленными по разработанной технологии, прошла стендовые и полевые испытания. В ноябре 2015 г. были начаты полетные испытания в составе «летающей лаборатории» ИЛ-76. В 2015-2016 гг. был успешно проведен первый этап летных испытаний ПД-14. Подтверждена работоспособность двигателя и его систем.

Бизнес партнеры: АО «ОДК-Авиадвигатель», ПАО «УМПО», ПАО Корпорация «ВСМПО-АВИСМА» и др.

3) Разработка «Стан СРЖД-800 для изотермической раскатки дисков и колец из жаропрочных сплавов на основе никеля, титана и железа, включая современные высоколегированные никелевые сплавы»



На основе модернизации стана СРД-800, ранее разработанного также ИПСМ РАН, создан стан СРЖД-800 для изотермической раскатки дисков и колец из жаропрочных сплавов на основе никеля, титана и железа, включая современные высоколегированные никелевые сплавы. Раскатной стан СРЖД-800 позволяет изготавливать диски и кольца газотурбинных двигателей с коэффициентом использования металла (КИМ), существенно превышающим КИМ используемых в настоящее время на предприятиях технологий.

Бизнес-партнер: ООО «Савеловский машиностроительный завод».

ЭКСПЕРТНАЯ И ДОГОВОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ

Экспертная деятельность научных организаций

20. Подготовка нормативно-технических документов международного, межгосударственного и национального значения, в том числе стандартов, норм, правил, технических регламентов и иных регулирующих документов, утвержденных федеральными органами исполнительной власти, международными и межгосударственными органами

Информация не предоставлена

Выполнение научно-исследовательских работ и услуг в интересах других организаций

21. Перечень наиболее значимых научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ и услуг, выполненных по договорам за период с 2013 по 2015 год

1) Дженерал Электрик Глобал, США, Договор на тему «Изготовление научных образцов из титанового сплава ВТ6(Тi-4)», 21230 долл. США, 2013 г.

2) ЗАО «ОКБ-Нижний Новгород», договор на тему «Разработка технологии жидкой штамповки детали «корпуса статора», изготовление опытной партии», 1.65 млн. руб., 2013 г.

3) ОАО «Агрегат», договор на тему «Изготовление штамповки деталей «рычаг» и «корпус»», 3.67 млн. руб., 2013-2014 г.

4) ОАО «Авиадвигатель», работы по патентованию изобретения: «Патентование конструкции и технологического процесса получения полой широкохордной рабочей лопатки вентилятора газотурбинного двигателя, включая зарубежное патентование», 1.5. млн. руб., 2013 г.

5) ООО «Спецоснастка и металлоконструкция», договоры на изготовление баллонов (0,045 л модель БМ, 0,3 л модель БВНК), детали «тарелка» из стали, 11.71 млн. руб., 2013-2015 гг.



6) ПАО «Ковровский механический завод», договор на изготовление и поставку изделия "Деталь 1002", 1.70 млн. руб., 2015 г.

7) ФГБОУ ВПО «МАТИ - Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, НИР по теме «Исследования закономерностей формирования структуры и свойств соединений сваркой трением с перемешиванием алюминиевых и магниевых сплавов», 0.48 млн. руб., 2013 г.

8) ООО «Инновационное научно-производственное предприятие «Авиационные технологии и материалы» (ООО «ИНПП» «АТМ»), НИР по теме: «Исследования структуры интерметаллидного титанового сплава TNM B1 в состоянии слитка/отливки с приведением физико-механических свойств», 2.5 млн. руб., 2013 г.

9) ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», НИР по теме: «Исследование технологических свойств экспериментального титанового сплава VST-2», 0.80 млн. руб., 2014 г.

10) Харбинский технологический институт, НИР по теме «Формированию мелкозернистой структуры в сплавах на основе титана Ti-22Al-20Nb-1Mo-2V-0,25Si и Ti-43Al-4Nb-1Mo-0,3V», 97 000 долл. США, 2013 г.

Другие показатели, свидетельствующие о лидирующем положении организации в соответствующем научном направлении (представляются по желанию организации в свободной форме)

22. Другие показатели, свидетельствующие о лидирующем положении организации в соответствующем научном направлении, а также информация, которую организация хочет сообщить о себе дополнительно

ИПСМ РАН является уникальной научной организацией, в которой проводится полный цикл исследований в области материалов и методов их обработки, начиная от фундаментальных исследований по физике, механике материалов, материаловедению и заканчивая конструкторско-технологическими разработками, внедрением результатов исследований, изготовлением опытных партий изделий и малосерийным производством. Институт имеет соответствующую инфраструктуру, обеспечивающую всю эту цепочку - оборудование для выплавки материала, его термической и деформационной обработки, исследования химического состава, структуры и физико-механических свойств и технологическое оборудование. Это открывает широкие возможности для решения сложных технологических задач авиакосмической, энергетической и других высокотехнологичных отраслей машиностроения.

При этом в равной мере развиты исследования, относящиеся к профилям как «Генерация знаний», так и «Разработка технологий», соответственно институтом публикуются статьи в высокорейтинговых журналах (количество публикаций в Web of Science на одного исследователя - одно из самых высоких в референтной группе, цитируемость публикаций в Web of Science на одного исследователя - самая высокая) и при этом выполняются дого-



воры на прикладные исследования и разработки (высокое значение доля внебюджетного финансирования в общем финансировании). В связи с этим следует отметить, что ряд ведущих сотрудников института входит в первую сотню наиболее цитируемых ученых России по соответствующим областям, а одна из разработок института - патент «Способ изготовления полой вентиляторной лопатки» (№ 2555274 РФ, патентообладатели: ИПСМ РАН, ОАО «ОДК-Авиадвигатель», ПАО «УМПО») удостоена диплома Федеральной службы по интеллектуальной собственности в номинации «100 лучших изобретений России-2015». Кроме того, институтом получены дипломы за участие в 16-ой международной выставке «Металлообработка-2015», (Москва, Экспоцентр, 25-29 мая 2015 г.) и Международной специализированной выставке «Импортозамещение» (МВЦ «Крокус Экспо» 15-17 сентября 2015 г.).

В ИПСМ РАН действует аккредитованная аспирантура, работает диссертационный совет по двум научным специальностям (01.04.07 - физика конденсированного состояния и 05.16.01 - металловедение и термическая обработка металлов и сплавов).

Каждый второй год ИПСМ РАН проводит Открытую школу-конференцию стран СНГ «Ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы», в которой участвуют 150-200 ученых из стран СНГ и дальнего зарубежья.

ИПСМ РАН выпускает научный журнал «Письма о материалах», который имеет статус журнала РАН, входит в список ВАК. В 2014 г. журнал по результатам открытого конкурса некоммерческого партнерства «Национальный электронно-информационный консорциум» (НП «НЭИКОН») и Министерства образования и науки РФ получил государственную поддержку программы развития для обеспечения реализации ключевых мероприятий с целью выведения журнала на международный уровень и продвижения в глобальные информационные ресурсы. В результате выполнения проекта с 2016 г. журнал внесен в базу данных Scopus.

В 2013-2015 гг. молодыми учеными института были получены следующие гранты и стипендии:

Грант по федеральной программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»). Тема: «Развитие основ технологии изготовления лопаток турбины низкого давления из интерметаллидного гамма-TiAl сплава». (2013 г.)

Грант TIER 1 Министерства образования Сингапура (No. RG 56/11) “Multifunctional enhancement of graphene via strain engineering”. (2013 г.)

Стипендия фонда «Династия» на 2012-2014г. для физиков-теоретиков в разделе аспиранты и молодые ученые без степени.

Стипендия Правительства РФ «Технология материалов и материаловедение: ультрамелкозернистые малоуглеродистые стали».

Стипендия Президента РФ «Эволюция дефектных структур в конденсированных средах».



Грант Президента РФ по конкурсу 2015 года по государственной поддержке молодых российских ученых-кандидатов наук.

В 2013-2015 гг. сотрудниками института получены следующие награды: 1 сотрудник награжден Почетной грамотой ФАНО России, 1- Почетной грамотой Министерства образования и науки Российской Федерации, 8- Почетной грамотой Российской академии наук, 1- Почетной грамотой Республики Башкортостан, 3-м присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан», 2-м присвоено почетное звание «Заслуженный изобретатель Республики Башкортостан».

ФИО руководителя _____

Мухомов Р. Р.



057139