

Наименование института: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук
(ИМАШ УрО РАН)**

Отчет по основной референтной группе 19 Производственные технологии и технологии машиностроения

Дата формирования отчета: **22.05.2017**

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

«Разработка технологий». Организация преимущественно ориентирована на выполнение прикладных исследований и разработок, получение результатов, имеющих практическое применение. Характеризуется высоким уровнем создания охраноспособных результатов, при этом доходы от оказания научно-технических услуг и уровень публикационной активности незначителен. (2)

2. Информация о структурных подразделениях научной организации

Лаборатория микромеханики материалов

Направления фундаментальных научных исследований:

- Исследование и моделирование деформации и разрушения микронеоднородных материалах на разных масштабных уровнях;

- Разработка жаропрочных металлических покрытий.

Направления прикладных научных исследований:

- Оптимизация процессов деформационной и термической обработки материалов с требуемым уровнем физико-механических свойств;

- Экспертиза причин разрушения, оценка деградации свойств металлических материалов при изготовлении и эксплуатации;

- Использование расплавленных металлов для смазки тяжело нагруженных трибосопряжений;

- Определение трибологических свойств смазок.

Лаборатория технической диагностики

- Создание методов и приборов неразрушающей диагностики текущего состояния металлических материалов и изделий;



057733

- Функционально-ориентированные процессоры для систем реального времени.

Лаборатория конструкционного материаловедения

- Повышение прочности и трибологических свойств металлических материалов термомехано-химическими обработками и совершенствование методов неразрушающего контроля их физико-механических характеристик.

- Разработка новых подходов и математических моделей для решения фундаментальной проблемы механики, позволяющих адекватно оценивать функциональные способности (прочность, несущую способность, остаточный ресурс) проектируемых и действующих машиностроительных элементов конструкций, работающих в широком спектре различных нагрузок.

- Разработка научных основ анализа и проектирования эффективных и экономичных комбинированных мембранно-каталитических систем получения особо чистого водорода из различных видов углеводородного сырья.

Лаборатория деформирования и разрушения

- Разработка научных и технологических основ получения методами высокоэнергетического и интенсивного деформационного воздействия слоистых металлических композиционных материалов из разнородных металлов и сплавов, в том числе с функциональными порошковыми прослойками;

- Изучение закономерностей формирования структуры, физико-механических свойств и характеристик сопротивления разрушению монолитных и композиционных металлических материалов при различных температурно-силовых условиях нагружения изделий, элементов конструкций и сварных соединений;

- Развитие физико-химических основ синтеза нанодисперсных смешанных модифицированных оксидов переходных металлов для получения эффективных полировочных материалов и дисперсно упрочненных композитов.

Лаборатория системного моделирования

Направления фундаментальных научных исследований:

- Развитие механики пластического деформирования неоднородных материалов с регулярной структурой.

- Разработка теории и основ технологии интенсивной деформации композитов волокнистого строения для создания материалов с уникальными свойствами.

- Математическое и компьютерное моделирование процессов ударного и гидромеханического выдавливания композитных заготовок для синтеза новых материалов.

Направления прикладных научных исследований:

- Оптимизация технологических систем производства волокнистых композитов электротехнического назначения;

- Разработка опытно-промышленных технологий, оснастки и инструмента для изготовления металлических композитов и изделий из них.

Лаборатория прикладной механики



- Методы решения краевых задач деформирования в процессах обработки металлов давлением для машиностроения.

- Модификация метода граничных элементов для решения нелинейных и связанных задач математической физики.

- Разработка методов точного интегрирования нелинейных задач механики сплошных сред в виде разложений по специальным функциям.

Лаборатория механики деформаций

- Построение определяющих соотношений для металлов при горячей пластической деформации.

- Экспериментальное определение сопротивления деформации металлов и сплавов при высоких температурах.

- Разработка алгоритмов и программ конечноэлементного моделирования больших пластических деформаций с применением техники параллельных вычислений.

- Разработка интеллектуальных компьютерных систем проектирования технологических процессовковки поковок.

Отдел механики транспортных машин

Направления фундаментальных научных исследований:

- Синтез оптимального управления движением (физическими процессами) агрегатов и систем транспортных машин.

- Создание теории механических многопоточных саморегулируемых бесступенчатых импульсных передач.

Направления прикладных научных исследований:

- Разработка расчетных и экспериментальных методов снижения динамической нагруженности и повышения долговечности гидромеханических трансмиссий транспортных машин.

- Разработка метода расчета внешней характеристики механического трансформатора с дополнительным регулированием, обеспечивающим постоянство угла закрутки торсионов и мощности в соответствующих диапазонах передаточных отношений.

- Разработка метода расчета нагруженности кинематических пар и звеньев трансформатора в зависимости от передаточного отношения с учетом характеристик регулирования.

- Разработка метода оценки управляемости и скоростных качеств гусеничных машин при криволинейном движении.

Сектор информационных технологий

Направления фундаментальных научных исследований:

- Создание систем управления контентом и средств поиска научной информации в среде Интернет.

- Инструментальные методы повышения устойчивости программ к ошибкам реализации, классификация и статистический анализ ошибок, оценка достоверности результатов работы программ.



- Создание встроенных средств развития модульных программных систем, обеспечивающих сборку системы на основе готовых компонент без необходимости в программировании.

- Распределенная обработка данных в модульных программных системах на основе сетевых технологий.

Направления прикладных научных исследований:

- Разработка шаблона сайта научного учреждения со встроенными средствами администрирования.

- Разработка методов автоматического выделения ключевых слов и терминов из текста, использования стилистических характеристик документов в ранжировании.

- Операции над неограниченными целыми чисел с высокой производительностью и вероятностью арифметической ошибки не более $1/1020$ для решения вычислительных задач криптографии и теории чисел.

3. Научно-исследовательская инфраструктура

ЦКП «Пластометрия» ИМАШ УрО РАН функционирует в Институте с апреля 2003 г. Материальная база ЦКП состоит из (28 ед.) оборудования и приборов и включает в себя: технологическое оборудование (для проведения интенсивной объемной и поверхностной пластической деформации и термической обработки материалов, включая технологические операции, обеспечивающие создание микро-, субмикро- и нанокристаллического состояния); оборудование для проведения различного вида механических и трибологических испытаний; оборудование для изучения химического и фазового состава, микроструктуры, шероховатости, состояния поверхности и изломов материалов; оборудование для изучения физических свойств материалов; измерительное оборудование и оборудование для пробоподготовки.

Численность ЦКП составляет 37 человек, из них: докторов наук - 8 человек, кандидатов наук - 19 человек и инженерно-технического персонала - 10 человек.

ЦКП «Пластометрия» включает в себя три научно-исследовательских и технологических подразделения: Испытательный центр; Лабораторию неразрушающего контроля; Лабораторию объемного и поверхностного деформирования.

Испытательный центр аккредитован Федеральной службой по аккредитации, аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.517352 от 19.04.2012 г., Лаборатория неразрушающего контроля аттестована в Системе неразрушающего контроля Госгортехнадзора России, свидетельство об аттестации № 55А151006 от 10.07.2015 г.

ИМАШ УрО РАН прошел сертификацию системы менеджмента качества в Системе добровольной сертификации «Военный регистр», имеет сертификат соответствия требованиям ГОСТ РВ 0015-002-2012 и сертификат соответствия требованиям ГОСТ ISO 9001-2011.



Ежегодно ЦКП выполняет свыше 100 работ, связанных с оказанием услуг сторонним организациям по определению физико-механических свойств конструкционных и функциональных материалов, проведением экспертиз, а также научно-исследовательских работ Института в рамках Программы ФНИ, Соглашений о научно-техническом сотрудничестве с ВУЗами, академическими и отраслевыми институтами.

За период 2013-2015 гг. на оборудовании ЦКП «Пластометрия» получен ряд важных научных результатов, из которых наиболее значимыми являются следующие:

1. Проведена аттестация механических свойств Челябинского метеорита.
2. Установлено подобие зависимости изменения коэрцитивной силы и диаграммы «напряжение – деформация» при упругопластическом деформировании ферро-магнитных материалов.
3. Установлено увеличение теплостойкости и коррозионной стойкости аустенит-ной стали после наноструктурирующей фрикционной обработки.

Перечень оборудования ИМАШ УрО РАН:

1) Вакуумная электропечь СНВЭ-9/18 – с металлическими нагревателями и экранной теплоизоляцией предназначена для проведения нагрева изделий в вакууме (не выше 5×10^{-5} мм. рт. ст.), а также в контролируемой атмосфере инертных газов (аргон, азот) при температуре до 1800°C.

2) Вихретоковый прибор DEFECTOMAT CI в комплекте с датчиками – система оснащена набором накладных и проходных датчиков и предназначена для вихретокового контроля изделий из металлических материалов.

3) Высокотемпературный дилатометр L75VS500LT – предназначен для измерения изменения линейных размеров образцов из различных материалов под действием температуры в вакууме или контролируемой атмосфере.

4) Высокочастотная резонансная испытательная машина (пульсатор) MIKROTRON – для проведения испытаний на многоцикловую усталость.

5) Система для измерения параметров испытаний INSTRON 8801 – предназначена для проведения испытаний на растяжение, сжатие, изгиб, трещиностойкость при статическом и циклическом нагружении (усталостные испытания), диапазон нагрузок: от 0,05 кН до 100 кН; относительная погрешность измерений предельной нагрузки: $\pm 0,5\%$; диапазон скорости испытания: от 0,005 мм/с до 100 мм/с; интервал температур испытаний: от - 70 °C до + 1000 °C.

6) Система для измерения твердости Fischerscope HM2000 – предназначена для измерения микротвердости по методам восстановленного отпечатка и Мартенса в соответствии со стандартом ISO14577. Определение модуля упругости по методу Оливера - Фарра. Время измерения при макс. нагрузке: мин. 1 с, макс. 60 с; диапазон нагрузок: от 0,4 мН до 2000 мН; увеличение микроскопа микротвердомера: 40x.

7) Атомно-силовой микроскоп «НаноСкан» - предназначен для проведения измерений топографии, измерений карт механических свойств поверхностей на одном участке по-



верхности, а также их сравнение между собой; проведение нагружения и царапание поверхности иглой зонда, осуществление измерения твердости (индентирование и склерометрию).

8) Измерительный комплекс на базе атомно-силового микроскопа NT-206 – предназначен для измерения и анализа микро- и субмикрорельефа поверхностей, объектов микро- и нанометрового размерного диапазона, их микромеханических и других свойств с высоким разрешением.

9) Лабораторная установка ROBOCUT a-01e с ЧПУ FANUC-310IS – предназначена для высокоточной и высокоскоростной механической обработки деталей.

10) Магнетоскоп MAGNETOSCOPI.069 – предназначен для измерения низкого уровня магнитной проницаемости и напряженности магнитного поля. Прибор может быть использован для измерения абсолютной магнитной проницаемости и напряженности поля, а также чтобы убедиться, что немагнитных материалов и компонентов действительно немагнитная.

11) Магнитоизмерительный комплекс Remagraph C-500 – предназначен для измерения магнитных характеристик материалов на магнитную проницаемость; индукцию насыщения; коэрцитивную силу.

12) Магнитометр NUVO Mk2 – предназначен для высокоточных измерений магнитных характеристик различных веществ.

13) Магнетоскоп цифровой «Magnetoscop I.069» – предназначен для измерений напряженности магнитных полей и магнитной восприимчивости с помощью феррозондовых датчиков.

14) Маятниковый копер IT542M в комплекте – предназначен для динамических инструментированных испытаний на трехточечный изгиб для определения характеристик ударной вязкости металлов и сплавов.

15) Многофункциональный комплекс для наномеханических испытаний Hysitron TI950 – предназначен для квазистатического наноиндентирования; проведения скретч-теста; получения снимков топография поверхности в режиме атомно-силового микроскопа. Используется трехгранная пирамида Берковича при нагрузках от 10 мкН до 1 мН.

16) Сканирующий электронный микроскоп TESCAN VEGA II XMU (TS5136XM) – предназначен для исследования поверхностей и проведения фрактографического анализа изломов при увеличениях от 8 до 50000 крат.

17) Оптический эмиссионный спектрометр SPECTROMAX xF – предназначен для проведения химического анализа металлов и сплавов на основе железа, меди, алюминия, магния, никеля на макрообразцах.

18) Прецизионный отрезной станок ISOMET 5000 – предназначен для измерения твердости металлов и сплавов при комнатных и повышенных температурах.



19) Прибор для измерения магнитных свойств материалов REMAGRAPH C-500 – комплекс предназначен для измерения магнитных характеристик материалов: магнитная проницаемость; индукция насыщения; коэрцитивная сила.

20) Прокатный стан Дуо/Кварто – предназначен для горячей и холодной прокатки металлических полос толщиной 2-10 мм. Прокатный стан используется с модернизированной системой электропривода.

21) Рентгеновский дифрактометр XRD-7000S – предназначен для проведения фазового анализа, прецизионных измерений параметров кристаллической решетки, определения остаточных напряжений, определения степени кристалличности аморфных материалов.

22) Система акустической эмиссии AMSY-5 – предназначен для регистрации и анализа акустических волн, возникающих в процессе деформации и разрушения (роста трещин) контролируемых объектов.

23) Система волнодисперсионного микроанализа INCA Wave500 – предназначена для получения информации о фазовом, качественном и точном количественном химическом составе образца на микроуровне.

24) Система для анализа деформаций StrainMaster 2D/3D – предназначена для измерения деформации образцов на испытательном комплексе для исследования магнитных характеристик материалов в процессе деформирования растяжением (сжатием) и кручением.

25) Система энергодисперсионного анализа модель Inca Energy 450 XT – предназначена для поэлементного определения химического состава металлических и неметаллических материалов при металлографических и фрактографических исследованиях на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA II XMU.

26) Твердомер высокотемпературный Akashi модель AVK-HF – предназначен для измерения твердости металлов и сплавов при комнатных и повышенных температурах.

27) Тепловизионная система Thermo Tracer TH-9100 – предназначен для бесконтактного измерения температуры поверхностей твердых (сыпучих) тел, газовых струй и воды по их собственному тепловому излучению и отображения этого распределения на экране.

28) Трехмерно отображающий анализатор поверхности Wayko NT 1100 – предназначен для определения топографии поверхности широкого спектра материалов оптическим методом.

29) Универсальная гидравлическая испытательная машина Tinius Olsen супер “L” 60 – предназначена для прецизионных исследований механических свойств материалов; снабжена траверсами из немагнитного материала, что позволяет проводить, с помощью дополнительного магнитно-измерительного оборудования, исследования влияния упруго-пластической деформации растяжением/сжатием на магнитные характеристики различных материалов.

30) Универсальная испытательная машина Zwick z2.5 – предназначена для проведения испытаний материалов на растяжение, сжатие и изгиб, макс. нагрузка: 2,5 кН; относитель-



ная погрешность измерений предельной нагрузки: $\pm 1\%$; макс. скорость испытания: 800 мм/с; используются экстензометры для измерения продольной и поперечной деформации.

31) Компьютеризированная измерительная установка Institut Dr.Foerster GmbH&Co – предназначена для точного определения коэрцитивной силы крупных образцов (диаметром до 60 мм) и удельной намагниченности насыщения ферромагнитных материалов.

32) Микротвердомер HNV-G21DT – предназначен для измерений микротвердости металлов и сплавов по шкалам Виккерса.

В ИМАШ УрО РАН имеются следующие уникальные установки:

1. Переносной портативный измерительно-вычислительный комплекс ИВК – для исследования свойств материалов методами кинетической твердости во внелабораторных условиях.

2. Установка для испытания на износостойкость в парах трения по схеме “палец-пластина” – для определения трибологических характеристик при испытаниях по закреплённому абразиву (корунд, карбид кремния) и на трение скольжения по схеме “палец-пластина”.

3. Установка для определения магнитных свойств материалов при упругопластической деформации – для определения влияния нагружения (растяжения, сжатия, кручения, внутреннего давления или комбинированного нагружения) на магнитные характеристики конструкционных материалов.

4. Мини-стан для волочения тончайшей проволоки (мощность двигателя 25 Вт, диаметр исходной проволоки от 300 мк до 400 мк; диаметр готовой проволоки от 30 мк до 40 мк); мини-стан для волочения тонкой проволоки (мощность двигателя 0,6 кВт, диаметр исходной проволоки от 1 мм до 2 мм; диаметр готовой проволоки от 0,7 мм до 1 мм).

5. Микропрокатные клетки планетарного типа для изготовления атравматических игл (разработаны совместно с ООО “Интехнол”, патент на изобретение № 2203761 от 10 мая 2003 г.) – для профилирования игл.

6. Стенд для исследования термоциклических долговечности и ползучести материалов в газовых средах – для определения прочностных свойств металлических образцов при импульсном нагреве (термоциклировании) до температуры 1100 °С в среде водорода при давлении до 0,5 МПа (нагрев образца производится при прохождении через него переменного тока силой до 750 А).

7. Мобильный информационно-измерительный комплекс – для использования при экспериментальном исследовании динамических процессов в приводах, трансмиссиях транспортных машин и другого транспортно-технологического оборудования, а так же для исследования кинематики и динамики управляемого движения транспортных машин.

8. Автоматизированная пластометрическая установка – для растяжения и сжатия образцов с регулируемой скоростью деформирования. Обеспечивает скорость деформации в пределах 0,01-4 с⁻¹. Нагрев образцов при сжатии осуществляется в отдельно стоящей



электропечи до температуры 1400 оС, при растяжении образцов – контактным электронагревом.

9. Аппаратно-программный имитатор бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) – для исследования алгоритмов, программного обеспечения и аппаратуры системы обработки информации БИНС летательных аппаратов.

10. Пластометрический комплекс – для изучения сопротивления материалов пластической деформации. Установлена компьютерная система регистрации и обработки экспериментальных данных.

11. Прокатный стан Дуо/Кварто – горячая и холодная прокатка металлических полос толщиной 2-10 мм. Прокатный стан используется с модернизированной системой электропривода.

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

В 2013-2015 гг. в интересах социально-экономического развития Уральского федерального округа Институт выполнял следующие проекты, связанные с освоением территорий Крайнего Севера и Арктики:

1) Проект № 12-1-2-011-Арктика “Определение температурных условий применения перспективных азотсодержащих сталей с высоким уровнем механических свойств, износостойкости и трещиностойкости для эксплуатации в регионах Крайнего Севера и разработка неразрушающих методов контроля этих сталей”. Руководитель: академик Э.С. Горкунов.

Результаты:

Исследованы структура и физико-механические свойства перспективной высокопрочной коррозионностойкой конструкционной азотистой стали 04X20N14Г6M2ACB. В интервале температур -80...+80 °С сталь сохраняет высокие характеристики прочности, пластичности,



ударной вязкости и динамической трещиностойкости и характеризуется вязким ямочным механизмом разрушения. Показано, что сталь 04X20H14Г6М2АСБ является неферромагнитной и сохраняет свои магнитные характеристики на исходном уровне при упругопластическом деформировании растяжением (сжатием), кручением и их комбинацией.

Исследованы возможности применения азотсодержащих сталей системы легирования Fe-Cr-Mn-Ni-N при отрицательных температурах. Установлено, что с уменьшением температуры испытания на растяжение у сталей 04X20H14Г6М2АСБ и 04X20H6Г11М2АФБ-1 наблюдается увеличение характеристик прочности, при сохранении высоких характеристик пластичности. Показано, что в условиях статического нагружения изделия из исследованных сталей могут эксплуатироваться вплоть до температур -196°C даже при наличии концентраторов напряжений. Установлен рост износостойкости и снижение коэффициента трения у сталей 04X20H14Г6М2АСБ и 04X20H6Г11М2АФБ-1 в условиях трения скольжения без смазки вплоть до -70°C . Показано, что аустенитные стали 04X20H14Г6М2АСБ и 04X20H6Г11М2АФБ-2 являются неферромагнитными и сохраняют свои исходные магнитные свойства в условиях действия нормальных и сдвиговых напряжений, а также их комбинаций.

2) Проект с ИФТПС СО РАН № 12-С-1-1030 “Разработка научных основ повышения конструкционной прочности сварных металлоконструкций, эксплуатирующихся при низких климатических температурах”. Научный руководитель проекта от ИМАШ УрО РАН: академик Э.С. Горкунов.

Результаты:

Создана упругопластическая модель сварного соединения при нагружении с учетом неоднородности состава и свойств материалов. Обосновано применение полевых зависимостей дифференциальной магнитной проницаемости для контроля состояния металла в различных зонах сварного соединения. Изучено влияние режимов ультразвуковой ударной обработки материалов сварного соединения на их контактные модули упругости. Показана возможность мониторинга процесса зарождения усталостной трещины в различных зонах сварного соединения по резонансной частоте нагружения и методом динамической спекл-интерферометрии. Доказана применимость метода Ньютона-Канторовича для расчета параметров равновесий дискретной механической системы с учетом разупрочнения материала.

С целью разработки научных основ повышения прочности металлоконструкций, эксплуатирующихся при низких климатических температурах, а также создания новых методик прогнозирования и технологий упрочнения проведено комплексное исследование физико-механических свойств и характеристик сопротивлению разрушению конструкционных сталей и их сварных соединений, разработаны методики оперативной неразрушающей диагностики прочностных свойств материала в разных зонах сварных труб на основе магнитных измерений и кинетического индентирования, созданы основы технологии упрочнения сварных соединений металлоконструкций с помощью ультразвуковой обра-



ботки, разработана итерационная схема расчета напряженно-деформированного состояния в пространстве со сферической полостью.

3) Проект № 15-15-1-52 “Создание научно-технологических основ получения перспективных слоистых металлических материалов с высоким сопротивлением разрушению при низких климатических температурах и разработка методов неразрушающего контроля их текущего состояния”. Руководитель: д.т.н. Гладковский С.В.

Результаты:

Выявлены особенности формирования структуры, характера распределения микротвердости, модуля упругости и химического состава в отдельных слоях 7- и 4-слойных композитов из стали 09Г2С с мелкозернистыми и ультрамелкодисперсными прослойками из мартенситно-старяющей стали ЭП678, полученных сваркой взрывом. Установлено, что изученные композиты сохраняют высокий уровень ударной вязкости и динамической трещиностойкости при температурах до -60°C , При этом их абразивная износостойкость на 12-17% выше по сравнению износостойкостью составляющий стальных слоев, а прочностные свойства в 1,5-2 раза превышают прочность основного компонента композита - стали 09Г2С. Разработана экспериментально-теоретическую методика оценки локальной межслойной сдвиговой прочности слоистых металлических композиционных материалов.

Значимость указанных проектов заключается в создании научно-технологических основ получения функциональных материалов с высоким запасом низкотемпературной конструкционной прочности, обеспечивающего эффективное сопротивление хрупкому разрушению изделий, элементов конструкций и транспортных систем в условиях Арктического климата.

8. Стратегическое развитие научной организации

Долгосрочные партнеры ИМАШ УрО РАН:

1. Российский ядерный центр - ВНИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина;
2. Государственный ракетный центр “КБ им. академика В.П. Макеева”;
3. Федеральное государственное унитарное предприятие центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов “Прометей”;
4. ОАО “НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова” (Протокол № 315/387 от 09.06.2015 г. по организации работ с функционально-ориентированным процессором ФОР-БИНС-64 на отработочных позициях НПОА);
5. ОАО «Трубная металлургическая компания»;
6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (соглашение о сотрудничестве от 30.04.2014 г. между ИМАШ УрО РАН, ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, ИФПМ СО РАН и ФГБУН Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, направленное на развитие совместных



фундаментальных и поисковых исследований коллективами по научному направлению: «Изыскание путей повышения надежности и живучести технических систем ответственного назначения, предназначенных для эксплуатации в условиях Арктической зоны и Крайнего Севера»;

7. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»;

8. ООО «Уральские локомотивы»;

9. Курганский государственный университет;

10. ФГУП Крыловский государственный научный центр;

11. Курганмашзавод.

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

За период с 2013 по 2015 гг. ИМАШ УрО РАН участвовал в двух международных проектах с Болгарией:

1) Проект совместных научных исследований “Изучение влияния упругопластической деформации на магнитные и акустические свойства многослойных материалов в целях разработки неразрушающих методов диагностики их текущего состояния”.

Зарубежный партнер: Институт механики Болгарской академии наук (г. София).

Период реализации: 2012-2014 гг.

2) Проект совместных научных исследований “Изучение влияния структуры и упругопластической деформации на магнитные и акустические свойства стальных материалов в целях разработки неразрушающих методов диагностики их текущего состояния”.

Зарубежный партнер: Институт механики Болгарской академии наук (г. София).

Период реализации: 2015-2017 гг.

В рамках совместных работ с Институтом механики БАН сотрудники ИМАШ УрО РАН разработали научные основы методики оценки напряженно-деформированного состояния многослойного конструкционного материала и его компонент на основе анализа



полевых зависимостей дифференциальной магнитной проницаемости. Разработанные подходы апробированы на модельных образцах “сталь 08X18H10T – сталь Ст3” и образцах высокопрочных трубных сталей, содержащих сварные швы.

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

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

Отдельные разделы исследований выполнены в рамках Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники» и «Транспортные и космические системы».

Результат 1. Разработаны феноменологические модели механики поврежденности при пластической деформации монолитных и композитных металлических материалов в условиях сложного напряженно-деформированного состояния, описывающие переходные процессы развития поврежденности при изменении условий деформирования и залечивания поврежденности при термическом воздействии. Создана методическая и экспериментальная база для идентификации определяющих соотношений моделей.

Результат направлен на решение актуальной фундаментальной проблемы, связанной с повышением прочности и надежности материалов в условиях экстремальных воздействий. Модель когезионного разрушения сформулирована в рамках феноменологического подхода механики поврежденности, в соответствии с которым рассматривается скрытое накопление внутренних повреждений до момента образования макроскопической трещины. В основу разработанной модели положено обобщение результатов экспериментальных исследований изменения плотности материалов за счет образования деформационных дефектов представительного ряда металлических материалов в условиях сложного напряженно-деформированного состояния при непрерывном и ступенчатом нагружении, в том числе и с промежуточными отжигами. В отличие от известных в мировой науке моделей, разработанная модель описывает адаптивные переходные процессы изменения интенсивности поврежденности при изменении условий деформирования, а также при термическом воздействии. Это позволило повысить точность прогнозирования исчерпания ресурса пластичности из условий микро- и макроразрушения материалов в процессах пластического формоизменения при обосновании новых технологических процессов изготовления конструктивных элементов ракетной техники и продукции кабельного производства осуществлять прогнозирование предельных деформаций.



Для получения эмпирической информации, необходимой для выполнения расчетов по разработанным моделям, предложены комплексы механических испытаний, позволяющие устанавливать зависимости предельных деформаций до разрушения образцов различной формы в широком диапазоне изменения показателей напряженного состояния.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 32 «Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения».

Результат 2. Разработаны иерархические модели деформации и разрушения композитных и микронеоднородных материалов на разных масштабных уровнях и экспериментально-расчетные методы для их идентификации.

Результат направлен на решение актуальной фундаментальной проблемы, связанной с развитием многоуровневого подхода к разработке и созданию материалов нового поколения с иерархически организованной структурой для новых прорывных производственных технологий и надежных конструкций. Значение созданных иерархических моделей для решения указанной проблемы заключается в возможности связного рассмотрения поведения конструкционных и функциональных материалов на смежных масштабных уровнях («мезо – макро», «микро – мезо»), что дает возможность проектирования материалов с требуемыми свойствами на основе моделирования деформации и разрушения микроструктурных составляющих материалов или применения структурно-феноменологических моделей с внутренними переменными, связанными с деформацией элементов микроструктуры. В рамках указанного выше подхода решены следующие задачи:

- Разработан и аппаратурно реализован на наномеханическом испытательном комплексе новый метод определения диаграмм «напряжения – деформации» микроструктурных составляющих по результатам проведения нано- и микромеханических испытаний путем инструментированного индентирования и скрабирования, что позволило провести испытания более 20 материалов.

- Построена иерархическая реологическая модель сопротивления деформации и формирования микроструктуры, необходимая для построения определяющих соотношений при моделировании процессов пластического деформирования алюминиевых сплавов. Сопротивление деформации изучали с использованием оригинального испытательного оборудования – пластометрических установок. С помощью модели было осуществлено компьютерное моделирование деформации ряда материалов, в том числе сплава 01570 при высокотемпературной большой пластической деформации в процессе разработки технологии изготовления крупногабаритных элементов конструкций корпуса ракеты, а также лабораторной технологии штамповки из перспективного металломатричного композита с матрицей из алюминиевого сплава и наполнителем из микрочастиц карбида кремния.

- Предложен экспериментально-аналитический метод идентификации модифицированного условия текучести Друкера-Прагера с использованием лемнискаты Бернулли для некомпактных и пористых материалов и разработан гибридный моделирующий комплекс



для автоматизированной системы исследования и оптимизации процессов деформирования структурно-неоднородных материалов, с помощью которого осуществлено моделирование полунепрерывного выдавливания и формования заготовок сложной формы, а с использованием технологии обратимого термоводородного легирования титансодержащего сырья в лабораторных условиях изготовлены прутки титана практически не имеющие остаточной пористости.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 28 «Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов».

Результат 3. Разработаны методы аналитического исследования и численного решения краевых задач с вырождением для нелинейного уравнения параболического типа, описывающего процессы теплопроводности, диффузии и фильтрации.

Результат получен в рамках решения фундаментальной научной проблемы математического моделирования сплошных сред с использованием нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными. Конкретная фундаментальная проблема состоит в описании процессов теплопроводности и диффузии, сопутствующих деформированию в процессе производства и эксплуатации элементов конструкций. Исследованы краевые задачи для нелинейного уравнения теплопроводности в случае степенной зависимости коэффициента теплопроводности от температуры. Помимо распространения тепла и диффузии, оно описывает также фильтрацию политропного газа в пористой среде. Отличительной особенностью данного уравнения является вырождение его параболического типа в случае, когда обращается в нуль искомая функция, вследствие чего уравнение приобретает некоторые свойства, обычно характерных для уравнений первого порядка, в частности, возможно распространение возмущений с конечной скоростью. Рассмотрены три вида начально-краевых задач при неклассических краевых условиях: 1) задачи с заданным нулевым фронтом; 2) задачи об инициации волны; 3) задачи с заданным ненулевым режимом на подвижном многообразии. Аналитическое исследование проведено методом степенных рядов. Доказаны новые теоремы существования и единственности решения – аналоги теоремы Коши-Ковалевской. Доказательства основаны на построении локальных аналитических решений вблизи начального момента времени. На основе метода граничных элементов разработаны алгоритмы численного решения задач теплопроводности на заданном конечном промежутке времени. Алгоритмы решения задач с вырождением на конечном промежутке времени разработаны впервые. Разработанные алгоритмы были использованы при создании пакетов программ для расчета на супервычислителе «Уран» ИММ УрО РАН распространения тепла и диффузии в элементах конструкций. Разработанные методы решения могут быть применены, в частности, для математического моделирования распространения тепловой волны по холодному фону и фильтрации жидкости и газа в пористой среде.

Результаты исследований соответствуют Критической технологии № 23 «Технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи».



Основные публикации по направлению 23:

1. Kazakov A.L., Spevak L.F. Numerical and analytical studies of a nonlinear parabolic equation with boundary conditions of a special form // *Applied Mathematical Modelling*. – 2013. – Vol. 37. – № 10-11. – P. 6918-6928. (Web of Science).

2. Mironov V.I., Kuznetsov A.V., Emel'yanov I.G. Consideration of Cyclic Degradation of the Material and Abnormality of the Surface Layer Mechanical Properties in Calculating the Life of a Plate with an Opening // *Strength of Materials*. – 2014. – Vol. 46. – No. 5. – P. 638-643. (Web of Science).

3. Smirnov S.V., Smirnova E.O. A technique for determining coefficients of the "stress-strain" diagram by nanoscratch test results // *Journal of Materials Research*. – 2014. – Vol. 29. – Iss. 16. – P. 1730-1736. (Web of Science).

4. Smirnov A. S., Konovalov A. V., Pushin V. G. et al. Peculiarities of the Rheological Behavior for the Al-Mg-Sc-Zr Alloy Under High-Temperature Deformation // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2014. – Vol. 23. – Iss. 12. – P. 4271-4277. (Web of Science).

5. Патент РФ № 2529131. Способ изготовления заготовок из титана" / Авт.: Колмогоров В.Л., Залазинский А.Г., Нестеренко А.В., Новожинов В.И. Патентообладатель ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук. Оpubл. 27.09.2014. БИ №27.

Направление 28. Система многокритериального связного анализа, обеспечения и повышения прочности, ресурса, живучести, надежности и безопасности машин, машинных и человеко-машинных комплексов в междисциплинарных проблемах машиноведения и машиностроения. Научные основы конструкционного материаловедения.

Работы выполнены в рамках Приоритетного направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Транспортные и космические системы» в части исследований по контролю сварных соединений магистрального трубопроводного транспорта и лазерной сварки разнородных металлических материалов.

Результат 1. Разработан новый подход к диагностике структурного состояния и прочностных свойств металла в различных зонах сварных соединений на основе анализа полевых зависимостей дифференциальной магнитной проницаемости, с учетом предыстории объекта контроля в виде предварительной пластической деформации.

Исследования посвящены решению актуальной фундаментальной проблемы, связанной с разработкой междисциплинарного подхода к комплексной оценке текущего состояния и диагностике ресурса перспективных материалов и элементов конструкций, работающих в экстремальных условиях, на всех стадиях жизненного цикла, на основе методов механики материалов, неразрушающих физических методов контроля и материаловедения.

В настоящее время сварка является самым широко распространенным оперативным и эффективным способом формирования неразъемных соединений элементов металлоконструкций, в частности, магистрального трубопроводного транспорта, эксплуатируемого в сложных климатических и геологических условиях. При этом чаще всего именно в



сварном соединении возникают очаги разрушения, что обуславливает необходимость создания методов диагностики текущего состояния металла различных зон сварных соединений в процессе изготовления и последующей эксплуатации.

В ходе выполнения работ по теме получены результаты микроструктурных исследований, механических испытаний и определены магнитные свойства металла различных зон (основного металла, материала околошовной зоны и материала шва) сварных труб для магистральных трубопроводов, изготовленных из сталей контролируемой прокатки классов прочности K60 и K65 (соответственно X70 и X80 по классификации API). Исследовано влияние различных схем нагружения на магнитные характеристики металла из всех трех зон сварных соединений. Установлены магнитные параметры, однозначно характеризующих изменение напряженно-деформированного состояния отдельных зон сварного соединения (шва, околошовной зоны, основного металла) в определенном диапазоне приложенных напряжений.

Изучено влияние предыстории материала в виде упругопластического деформирования растяжением на закономерности поведения ряда магнитных характеристик основного металла и материала околошовной зоны сварной трубы, изготовленной из стали контролируемой прокатки класса прочности X70, в условиях последующего упругого одноосного растяжения (сжатия). Показано, что необратимые изменения магнитных характеристик при пластической деформации более существенны для основного металла, чем для материала околошовной зоны. Установлено качественное подобие зависимостей магнитных характеристик от упругих приложенных напряжений, при количественном различии этих зависимостей, для основного металла и материала околошовной зоны сварной трубы. Определен диапазон упругих напряжений, в котором магнитные характеристики, измеренные в продольном направлении, для каждого из исследованных участков сварной трубы изменяются однозначно и могут быть использованы в целях оценки величины действующих упругих напряжений.

Проведённые исследования позволили обосновать использование значений полей максимумов дифференциальной магнитной проницаемости на ее полевых зависимостях для диагностики структуры и прочностных свойств металла отдельных зон сварных соединений и выявления наиболее опасных, с точки зрения возможности протекания хрупкого разрушения, участков таких соединений. Разработанный подход к диагностике состояния сварных соединений обладает научной новизной на мировом уровне.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 32 «Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения».

Результат 2. Разработаны научные и технологические основы финишной технологии наноструктурирующего выглаживания конструкционных сталей деформирующим индентором из сверхтвёрдых материалов, которая обеспечивает кратное повышение износостойкости сталей и изготовленных из них прецизионных деталей трибосопряжений.



Исследования посвящены решению актуальной фундаментальной проблемы разработки научных основ обеспечения надежной работоспособности машин и механизмов, их износостойкости в условиях длительной эксплуатации, в том числе в экстремальных условиях (повышенные нагрузки, скорости, температуры, наличие абразивных и агрессивных сред). В значительной мере повышение эксплуатационных свойств должно быть обеспечено поверхностным слоем материалов, используемых для изготовления современных деталей трибосопряжений. Эффективным методом финишной обработки поверхностным пластическим деформированием является технология наноструктурирующего выглаживания (Патент РФ №2458777, патентообл. ИМАШ УрО РАН), позволяющая формировать наноструктурное состояние и субмикрорельеф поверхностного слоя и обеспечивающая при серийном изготовлении прецизионных деталей из конструкционных сталей на металлообрабатывающих центрах кратное повышение эксплуатационных свойств.

Исследование трибологических свойств ряда конструкционных сталей с различным исходным структурным состоянием показало, что, в частности, наноструктурирующее выглаживание цементованной низколегированной стали 20Х, подвергнутой закалке и отпуску при 250 °С, индентором из плотного нитрида бора DBN в газовой среде приводит к снижению в 2,1 раза интенсивности изнашивания и росту в 1,8 раза удельной работы абразивного изнашивания при испытании по закрепленному абразиву кремню вследствие смены основного механизма изнашивания от микрорезания к микроцарапанию, уменьшению интенсивности изнашивания цементованной стали в 3,4-4,5 раза при испытаниях на трение скольжения по пластине из стали 45 в воздушной и безокислительной (аргон) средах вследствие локализации развития на выглаженных поверхностях усталостно-окислительного и адгезионного изнашивания. По данным микроиндентирования установлено, что наноструктурирующее выглаживание повышает способность поверхностного слоя противостоять упругому и пластическому деформированию при контактном нагружении, что ограничивает развитие процессов микрорезания, схватывания, пластического и упругого оттеснения при различных видах фрикционного воздействия. Тем самым обеспечивается повышенная износостойкость деталей трибосопряжений, обработанных наноструктурирующим выглаживанием.

Актуальность выполненной работы определяется тем, что полученные результаты по трибологическим аспектам наноструктурирующего выглаживания конструкционных сталей необходимы для разработки и оптимизации промышленной технологии наноструктурирующего выглаживания, обеспечивающей повышение износостойкости деталей узлов трения.

На основе результатов выполненных исследований трибологических свойств ряда конструкционных сталей после наноструктурирующего выглаживания разработаны технические решения по обеспечению требуемого уровня свойств деталей ответственного назначения нефтегазовой трубопроводной арматуры, насосно-компрессорного и другого технически сложного оборудования, к которым предъявляются повышенные требования



износостойкости, антифрикционными свойствами, способности сопротивляться деформациям при контактных нагрузках, теплостойкости, коррозионной стойкости.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 17 «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов».

Результат 3. Установлены закономерности влияния лазерного излучения при сварке титановых сплавов и аустенитной коррозионностойкой стали через промежуточные медные вставки с добавками нанопорошков на геометрию сварного шва, его структуру и прочностные свойства с целью выбора оптимальных технологических режимов сварки и последующей термической обработки, позволивших получить соединения с прочностью выше прочности наименее прочного материала.

Исследования посвящены решению актуальной фундаментальной проблемы, связанной с созданием научно-технических основ лазерной сварки трудно свариваемых разнородных материалов авиационного и энергетического назначения с использованием промежуточных вставок и нанопорошковых инокуляторов. Несмотря на имеющиеся успехи в использовании лазерного луча при обработке материалов, технические достижения в этой области, как в России, так и за ее пределами остаются весьма ограниченными, что обусловлено наличием ряда принципиальных проблем, например, способов получения бездефектного, структурно- и химически однородного шва, обладающего высокими прочностью и пластичностью, особенно в случае соединения разнородных материалов. Исследования проводились во взаимодействии и по согласованным планам с ИТПМ СО РАН, основного отечественного разработчика оборудования и технологий лазерной сварки металлов.

Объектом исследований являлись образцы соединений титановых сплавов и аустенитной коррозионностойкой стали через промежуточные медные вставки.

Получены экспериментальные данные по влиянию химического состава промежуточных вставок, в том числе многослойных, полученных сваркой взрывом, а также с добавками нанопорошков на ширину и форму сварных швов, толщину и фазовый состав зон термического влияния, строение границ между соединяемыми материалами и сварными швами, характер распределения химических элементов, значений микротвердости и контактного нормального модуля упругости по ширине и высоте швов, объемную долю и размер частиц интерметаллидов $Ti(Fe,Cr)_2$ и $TiCu_3$, прочностные характеристики швов при испытаниях на статическое растяжение и усталость, уровень остаточных напряжений. С помощью численного моделирования поведения сварного соединения в условиях циклического нагружения, показано, что учет фактического распределения модуля упругости в зоне сварного шва позволяет уточнить величину амплитудных значений упругих деформаций. Показано положительное влияние добавок нанопорошков в лазерных сварных швах титановых сплавов, а также в соединениях аустенитной коррозионностойкой стали 12X18H10T и титановых сплавов ВТ1-0 и ВТ5-1 на их прочность при статическом растяжении и выносливость в условиях циклического нагружения. Впервые получены экспериментальные данные по строению и диффузионному взаимодействию стали 12X18H10T и сплава ВТ1-



0 в процессе лазерной сварки титанового сплава и коррозионностойкой стали через трехслойные вставки, полученные сваркой взрывом (Ti-Ta-сталь и Ti-Nb-Cu-сталь). Определена прочность соединений и характер их разрушения при статическом растяжении.

На основе проведенных исследований режимов лазерной сварки и последующей термической обработки установлены режимы, позволяющие получать соединения с прочностью выше прочности наименее прочного материала (титановых сплавов). Полученные в ходе выполнения данной работы экспериментальные результаты являются весьма важными для моделирования тепловых процессов при лазерной сварке, а также для развития теоретических представлений о физико-химических и кристаллизационных явлениях в зоне лазерного воздействия.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 32 «Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения».

Основные публикации по направлению 28:

1. Наномодифицирование при лазерной сварке сплавов / А.М. Оришич, А.Н. Черепанов, В.П. Шапеев, Н.Б. Пугачева. – Новосибирск: Сибирское научное издание, 2014. – 258 с. (монография).

2. Трибологические аспекты наноструктурирующего выглаживания конструкционных сталей / Кузнецов В.П., Макаров А.В., Псахье С.Г. и др. // Физическая мезомеханика. – 2014. – Т. 17. – № 3. – С. 14-30. (Web of Science).

3. Влияние механических напряжений на магнитные характеристики трубной стали / Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Мушников А.Н. и др. // Прикладная математика и техническая физика. – 2014. – № 3. – С. 181-191. (Web of Science).

4. Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Путилова Е.А., Саврай Р.А. Влияние структуры и напряженного состояния на магнитные свойства металла в различных зонах сварных труб большого диаметра // Физика металлов и металловедение. – 2014. – Т. 115. – № 10. - С. 1011–1018. (Web of Science).

5. Горкунов Э.С., Субачев Ю.В., Поволоцкая А.М., Задворкин С.М. Влияние упругой деформации на гистерезисные свойства двуслойного ферромагнетика, составленного из компонентов, обладающих магнитострикцией разных знаков // Дефектоскопия. – 2014. – № 8. – С. 42-56. (Web of Science).

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

Работы выполнены в рамках Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Транспортные и космические системы» и «Безопасность и противодействие терроризму».

Результат 1. Обоснованы и разработаны технологические схемы и режимы получения слоистых металлических композитов системы «сталь-алюминий» и сталь-сталь» с исполь-



зованием сварки давлением, взрывом и горячей пакетной прокатки и выявлены особенности их механического поведения при различных температурно-силовых условиях нагружения.

Проведенное исследование направлено на решение фундаментальной проблемы, связанной с созданием новых слоистых композиционных металлических материалов с повышенным комплексом физико-механических свойств и сопротивлением хрупкому разрушению, предназначенных для использования в машиностроительных изделиях и конструкциях при эксплуатации в условиях низких климатических температур.

На основании проведенного комплексного исследования было осуществлено обоснование для разработки технологии соединения листовых заготовок горячей (для алюминия АД0) и теплой (для сталей 006/IF и 09Г2С) прокаткой, обеспечивающей получение многослойного (до 23 слоев) композиционного материала конструкционного назначения, включающая многопроходную пакетную прокатку с обжатием 40-55% в цикле. Определена оптимальная температура нагрева заготовок при получении многослойных сталеалюминиевых композитов. С использованием методов EBSD-анализа и просвечивающей электронной микроскопии выявлены особенности структурообразования в отдельных слоях, композитов с прослойками из алюминия и сплава АМц. При изучении механических характеристик слоистых металлических композитов, в том числе с использованием подходов экспериментальной механики разрушения, выявлен эффект аномального роста характеристик ударной вязкости на 10-20% и динамической трещиностойкости на 15-25 % с понижением температуры испытаний от комнатной до -60 °С. Установлено различие в характере роста трещины в зависимости от условий испытания (статические, динамические и циклические нагрузки) в слоистых композиционных материалах на основе низкоуглеродистых сталей, алюминия и его сплавов, а также композитов системы Ti-Al3Ti. Выявлены кинетические особенности распространения усталостных трещин в трехслойном композите «09Г2С-АМц-09Г2С», вызванные изменением скорости их роста при пересечении границ раздела слоев из стали и алюминиевого сплава. Результат соответствует уровню отечественных и зарубежных исследований в области композиционных материалов и может быть использован при производстве изделий ответственного назначения для эксплуатации в условиях Арктики.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 28 «Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов».

Результат 2. Разработаны технологические основы и предложен новый способ получения Al/V4C композиционного материала с внешними плакирующими слоями из алюминиевых сплавов, обладающего повышенным комплексом физико-механических свойств и функцией нейтронной защиты.

Проведенное исследование направлено на решение актуальной фундаментальной задачи создания перспективных нейтронозащитных материалов для атомного машиностроения применительно к элементам конструкции транспортно-упаковочных комплектов (ТУК) для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и решения проблемы



импортозамещения в этой области. На основе полученных данных по изучению влияния состава и дисперсности смесей порошков алюминия и карбида бора, состава плакирующих алюминиевых сплавов, температурно-силовых режимов деформации пакетов в различной технологической оболочке методом горячей прокатки на физико-механические свойства листовых материалов предложен новый способ получения функциональных Al/B4C-композитов, защищенный патентом РФ (№ 2528926). Разработана и реализована в опытно-промышленных условиях новая технологическая схема получения листового бороалюминиевого композита на основе многоэтапной горячей прокатки смеси порошков алюминия и карбида бора, помещенной в замкнутую оболочку из алюминиевых сплавов. Определены важнейшие физико-механические свойства нейтронозащитного материала, в том числе характеристики сопротивления хрупкому разрушению. Установлен оптимальный состав и дисперсность порошков алюминия и карбида бора, а также параметры технологического процесса компактирования порошковой смеси алюминия и карбида бора способом многопроходной прокатки с целью получения монолитного Al/B4C композита с повышенным комплексом физико-механических свойств. Предложенный способ получения Al/B4C композиционного материала, обладающего повышенной прочностью и эффективным поглощением тепловых нейтронов, может применяться при создании материалов конструкционного и функционального назначения для изделий атомной, авиакосмической и военной техники. Полученный результат является новым и находится на уровне мировых и отечественных исследований в данной области и является импортозамещающим материалом.

Результаты работы соответствуют Критическим технологиям РФ № 9 «Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом» и № 28 «Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов».

Результат 3. Разработаны феноменологическая модель поврежденности зоны соединения металлических слоистых композитных материалов и экспериментально-теоретические методики оценки межслойной прочности, выявлены закономерности изменения локальных прочностных свойств слоев, полученных сваркой взрывом и совместной прокаткой слоистых металлических композиционных материалов.

Результат направлен на решение актуальной фундаментальной проблемы, связанной с повышением с повышением прочности и надежности металлических композиционных материалов в условиях экстремальных воздействий.

Разработана феноменологическая модель поврежденности зоны соединения металлических слоистых композитных материалов, которая впервые позволила решать задачи прогнозирования расслоения этих материалов в технологических процессах обработки методами пластической деформации. Предложен и обоснован векторный критерий разрушения путем расслоения границы соединения. В качестве основных эмпирических характеристик использованы зависимости предельных пластических нормальных и тангенциальных деформаций материалов в зоне соединения от характеристик напряженного состо-



яния. Модель апробирована в лабораторных условиях при прокатке многослойных композитов «сталь-сталь», «сталь-медь», изготовленных методом сварки взрывом.

Для проведения испытаний во внелабораторных условиях был разработан и создан автоматизированный аппаратный комплекс кинетического индентирования «Индентор-2», на котором была реализована оригинальная авторская методика восстановления диаграммы «напряжение-деформация» по результатам записи диаграммы индентирования. С использованием кинетического индентирования были выявлены закономерности изменения локальных прочностных свойств слоев полученного сваркой взрывом слоистого металлического композита «медь М1-сталь 20-медь М1» при их технологической деформации многопроходной прокаткой на лабораторном прокатном стане Дуо/Кварто с относительным обжатием 50%. Установлено, что холодная прокатка композита с обжатием 50% приводит к росту прочности центрального слоя из стали 20 с 400 до 490 МПа. Результат является новым в научном отношении, соответствует отечественному и зарубежному уровню исследований данной области и может быть востребован при разработке технологии и упрочняющей деформационной обработки слоистых металлических композитов.

Разработана экспериментально-теоретическую методика оценки локальной межслойной сдвиговой прочности слоистых металлических композиционных материалов с пластичной прослойкой. Испытание заключалось во внедрении алмазного индентора Виккерса при разных нагрузках в зону промежуточную прослойку. Для реализации испытаний во внелабораторных условиях был использован автоматизированный аппаратный комплекс кинетического индентирования «Индентор-2». Поверхность участка металла вокруг отпечатка исследовали с использованием измерительной системы на базе интерференционного микроскопа, который позволяет получать трехмерное изображение рельефа поверхности. Для количественной оценки напряжений, возникающих в плоскостях соединения слоев при вдавливании индентора, использовали результаты конечно-элементного моделирования. Методика была использована при выполнении цикла работ по продлению срока безопасной эксплуатации элементов конструкций ракетной техники после окончания гарантийного срока хранения.

Результат работы соответствует Критической технологии РФ № 28 «Технологии создания и обработки композиционных и керамических материалов».

Основные публикации по направлению 24:

1. Гладковский С.В., Трунина Т.А., Коковихин Е.А., Смирнова С.В., Каманцев И.С., Горбунов А.В. Слоистые сталеалюминиевые композиты конструкционного назначения на основе сверхнизкоуглеродистой стали 006/IF // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2013. – № 1(691). – С. 3-7. (Web of Science).

2. Гладковский С.В., Трунина Т.А., Коковихин Е.А., Кутенева С.В., Каманцев И.С., Бородин Е.М. Исследование влияния конструктивных элементов и способа изготовления на формирование структуры и свойств слоистых металлокомпозитов // *Производство проката*. – 2014. – № 3. – С. 28-36. (РИНЦ).



3. Гладковский С.В., Трунина Т.А., Коковихин Е.А., Кутенева С.В., Каманцев И.С. Исследование свойств Al/V4C композитов полученных горячей прокаткой // Перспективные материалы. – 2014. – № 2. – С. 18-25. (РИНЦ).

4. Патент РФ на изобретение “Способ получения металломатричного композиционного материала”. Авторы: Гладковский С.В., Трунина Т.А., Коковихин Е.А., Кутенева С.В., Каманцев И.С. (Патент РФ № 2528926. МПК В22F 3/18, В22F 7/04, В30В 15/16. Опубликовано 20.09.2014 г. Бюл. № 26).

5. Патент РФ на полезную модель “Устройство пространственного базирования портативных твердомеров, инструментов подготовки и визуального контроля на испытываемой поверхности для исследований механических характеристик”. Авторы: Перунов Е.Н., Выскребенцев С.В. (Патент РФ № 146273 от 13.02.2014. Опубликовано 10.10.2014. Бюл. №28).

Направление 30. Методы анализа и синтеза многофункциональных механизмов и машин для перспективных технологий и новых человеко-машинных комплексов. Динамические и виброакустические процессы в технике.

Работы выполнены в рамках Приоритетного направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации № 5 «Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники» и посвящены решению фундаментальной проблемы, связанной с научным обоснованием и развитием новых методов регулирования нестационарного движения транспортных машин, стабилизации динамических и вибрационных процессов в сложных механических системах и многофункциональных механизмах, управлению обменом кинетической энергии между составными частями при оптимизации топливной экономичности и других эксплуатационных характеристик.

Актуальность полученных результатов исследований определяется тем, что при разработке перспективных транспортных средств специального назначения (военных гусеничных и колесных машин) необходимо обеспечить повышенный уровень надежности, долговечности элементов конструкции и определить пути повышения степени реализации их потенциальных скоростных свойств.

Результат 1. Установлено и описано неисследованное ранее явление возбуждения параметрических резонансов в элементах движителя, ограничивающих ресурс элементов конструкции машины (в том числе и специального оборудования, устанавливаемого на ней)

Явление обнаружено в процессе проведения стендовых испытаний гусеничных движителей известных конструкций. Дальнейшие экспериментальные исследования и теоретические исследования с использованием методов динамики нелинейных систем позволили: 1) определить функции параметра потоков отказов для элементов ходовой части гусеничной транспортной машины; 2) выявить характер взаимосвязи колебательных процессов в ходовой части машины с функционированием элементов ее специального оборудования; 3) уточнить расчетные схемы и математические модели с учетом нелинейности характеристик



гусеничного движителя, действия волновых процессов в ветвях гусениц; 4) обосновать пути уменьшения возмущающего действия волновых процессов в гусенице. Результаты исследований явились основой для разработки новой конструкции гусеницы для единой модульной платформы гусеничной бронетехники.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 27 «Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта».

Результат 2. Установлены новые закономерности динамики управляемого движения гусеничной транспортной машины формирования неустойчивого движения машины из-за возбуждения поперечных волновых процессов в гусеничном движителе.

Установленные закономерности объясняют ограничение степени реализации потенциальных скоростных свойств невозможностью компенсации отклонений, дестабилизирующих траекторию движения, из-за недостаточной мощности гидросистемы управления гусеничным движителем. Проведенные исследования явления позволили предложить техническое решение, которое позволяет обеспечивать требуемое качество переходного процесса натяжение гусеницы отстающего борта за счет использования энергии системы управления поворотом. Кроме того, данное решение обеспечивает стабилизацию поперечных волновых процессов в свободных ветвях гусениц, что предотвращает отклонение траектории прямолинейного движения. Результаты исследований использованы при разработке автоматизированной системы управления блокировкой гидротрансформатора многоцелевой транспортной машины.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 27 «Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта».

Результат 3. Обоснована необходимость системы стабилизации траектории движения гусеничной машины при ошибочном превышении водителем скорости движения.

Выполненный цикл исследований позволил разработать новую функциональную схему системы стабилизации траектории движения быстроходной гусеничной машины использованием современных информационных технологий обработки и обмена информации. Программа управления системы позволяет повысить точность траектории движения машины, в том числе при ошибочном превышении водителем скорости движения. При этом значения параметров бокового движения машины определяются на основе технологии глобального позиционирования на базе GPS-ГЛОНАСС навигационной системы.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 27 «Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта».

Основные публикации по направлению 30:



1. Derzhanskii V., Taratorkin I., Taratorkin A., Kharitonov S. Dynamic Loading Reduction of Multiplate Clutches Lined Plates of the Vehicle Powertrain // SAE Technical Paper. – 2014. – 2014-01-2332. – DOI: 10.4271/2014-01-2332. (SCOPUS).

2. Taratorkin, I., Taratorkin, A., and Derzhanskii, V. Reduction in Dynamics of the Hydromechanical Transmission on the Wheeled Chassis // SAE Technical Paper. – 2015. – 2015-01-2789. – DOI: 10.4271/2015-01-2789. (SCOPUS).

3. Патент на изобретение № 153666 от 22.04.2015 “Автоматизированная система управления гидромеханической трансмиссией транспортной машины”. Авторы: Держанский В.Б., Тараторкин И.А., Тараторкин А.И., Гизатуллин Ю.Н., Волков А.А.

4. Патент на изобретение RU № 2012136760 от 23.07.2013 г. “Способ исключения резонансных режимов колебаний металлокерамических дисков гидромеханической трансмиссии транспортной машины”. Авторы: Держанский В.Б., Тараторкин А.И., Тараторкин И.А.

5. Патент РФ на полезную модель № 156493 от 14.10.2015 “Система управления движением быстроходной гусеничной машины”. Авторы: В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин, А.А. Волков.

Направление 31. Общая теория систем управления и информационно-управляющих систем; методы и средства коммуникационно-сетевое управления многоуровневыми и распределенными динамическими системами в условиях неполной информации.

Работы выполнены в рамках Приоритетного направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Информационно-телекоммуникационные системы», а в части, связанной с разработкой функционально-ориентированных процессоров, в рамках Приоритетного направления «Транспортные и космические системы».

Результат 1. Разработаны с применением методов теории искусственного интеллекта (объектно-ориентированный, гибридный, генетический и мультиагентный подходы) теоретические основы построения систем автоматизированного проектирования технологических процессов свободнойковки на молотах поковок широкой номенклатуры. Создан действующий прототип системы.

Результат направлен на решение фундаментальной проблемы инженерных наук, связанной с построением автоматизированных проблемно-ориентированных систем проектирования с целью повышения их интеллектуального уровня для решения задач проектирования заданного класса сложных объектов. Задача исследований заключалась в разработке на основе методов теории искусственного интеллекта (объектно-ориентированный, гибридный, генетический и мультиагентный подходы) теоретических основ построения интегрированной интеллектуальной системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) свободнойковки поковок валов, дисков, колец, втулок, которая должна решать задачи проектирования технологииковки, термообработки поковок, нормирования техпроцесса.



Основная проблема создания САПР ТПковки связана со слабой структурированностью технологического процесса и, как следствие, слабой формализацией предметной области. Каждое предприятие опирается на собственные традиции и производственный опыт. Подобное положение дел инициирует разработку систем, ориентированных на конкретное предприятие. Данная проблема решена путем повышения интеллектуальности системы, что позволяет улучшить ее адаптацию к условиям разных предприятий. При выполнении исследований выполнен полный цикл работ, связанных с определением объектов системы, совокупности их свойств, методов и событий, связанных с внешним воздействием или изменением состояния объектов; выделены агенты системы, систематизированы, формализованы и распределены задачи между ними. Выполнена формализация и классификация основных характеристик объектов проектирования, используемые стратегии и гипотезы, состав знаний для получения и обоснования решения, составлены протоколы действий и рассуждений при разработке техпроцессаковки, разработаны методы наполнения знаний и выработки правил проектирования по обучающей выборке, определены критерии подобия для поиска аналогичных решений в базе данных, разработан метод оценки технологичности получаемых технологических процессов, разработана структура внутренней обслуживающей PDM системы др. Разработана общая методология применения в рассматриваемой предметной области генетических алгоритмов решения технологических задач, разработаны генетические алгоритмы и программы проектирования переходовковки валов. Создан действующий прототип системы проектирования технологических процессовковки поковок на молотах.

Актуальность результатов исследований определяется тем, что в современных экономических условиях произошел существенный сдвиг в сторону уменьшения серийности машиностроительного производства, что привело к резкому увеличению объемов разрабатываемых технологических процессов. При этом возросли требования к сокращению сроков технологической подготовки производства и повышению качества проектных решений. В кузнечном производстве, которое является заготовительным производством машиностроения, имеет место острая нехватка квалифицированных технологов. Обеспечить качественное и быстрое решение задач технологической подготовки кузнечного производства в современных условиях возможно только на основе широкого применения на машиностроительных предприятиях интегрированных интеллектуальных САПР ТП. Предложений о продаже САПР ТП свободнойковки на молотах и прессах на Российском рынке от зарубежных фирм нет. Разработки коллектива в данной предметной области являются пионерскими, отличаются от работ других коллективов и позволяют получать результаты, обладающие научной новизной на международном и отечественном уровнях.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 13 «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем».

Результат 2. Исследована взаимосвязь между параметрами одного класса потоковых алгоритмов обработки данных и характеристиками архитектур вида RISC-VLIW. Получены



определяющие соотношения, позволяющие оптимизировать вычисления по критериям аппаратной или временной сложности в базисе схем из функциональных элементов.

Проведено исследование, связанное с решением фундаментальной проблемы взаимного влияния алгоритмов численных методов решения задач математической физики и процессорных архитектур. На основе категории \square -энтропии построены конструктивные оценки сложности вычислений для одного класса систем дифференциальных уравнений. Сами оценки представляют собой соотношения, связывающие ключевые параметры численных методов решения систем дифференциальных уравнений и характеристики логического базиса булевых функций. Соотношения являются основой для построения конструктивных верхних оценок сложности вычислений в базисе схем из функциональных элементов в смысле Яблонского-Лупанова. Более конкретно, разработана теоретическая база оптимизации алгоритмического и программного обеспечения бортовых навигационных систем на основе преобразований графов потоковых алгоритмов по критериям минимумов их ширины и высоты. На основе данной методики с учетом различных способов временной организации вычислений была синтезирована оптимальная архитектура процессорного ядра функционально-ориентированных процессоров (ФОП), предназначенного для быстрого вычисления скалярных произведений векторов. Оптимизация проводилась по критерию аппаратной и временной сложности вычислений. Архитектура ядра основана на сочетании длинного командного слова и однократного выполнения команд. Кроме того, в ходе выполнения исследований была разработана версия 1.0 специализированного языка программирования (рабочее название – DAPlang). Особенности языка DAPlang 1.0 является уровень алгоритмических конструкций операторов, максимально приближенный к уровню обработки данных в аппаратных модулях ядра, а также модульный характер командного слова. Разработанное программное обеспечение позволяет компилировать исходные тексты программ на языке DAPlang 1.0 в объектный код целевого процессора. Актуальность и значимость описываемого результата состоит в том, что он является одной из основ САПР архитектур бортовых ФОП для навигационных систем, что относится к технологии информационных, управляющих, навигационных систем. Результат использован при разработке прототипа функционально-ориентированного процессора на базе программируемых логических интегральных схем для реализации алгоритмов инерциальной навигации в реальном времени и бортовой вычислительной техники для навигационных систем малогабаритных высокоманевренных летательных и космических аппаратов гражданского и специального назначения. т

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 13 «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем».

Результат 3. Исследованы метрические свойства нелинейных алгоритмических шкал с целью создания новых методов измерений для случая значительных диапазонов изменения измеряемых параметров. Получено уравнение невязки для случая нелинейной алгоритмической шкалы, описываемой степенной функцией с показателем $n < 1$ и на основе



использования гладкой параболической шкалы впервые предложен метод нелинейного преобразования для прецизионного on-line измерения малых электрических величин.

Описание результата.

Исследование направлено на решение фундаментальной проблемы теории измерений, связанной синтезом оптимальной измерительной шкалы. В настоящее время наиболее распространенной измерительной шкалой является линейная. В случае необходимости измерения величин, изменяющихся в широком диапазоне (например, 100 dB), применение линейных шкал приводит к значительным относительным погрешностям. Поэтому актуальным является исследование нелинейных функциональных шкал. В работе сформулировано обобщенное уравнение измерения как дифференциальное уравнение в частных производных. На основе использования данного уравнения аналитически описана параболическая измерительная шкала с показателем степени $n < 1$. Показано, что данная шкала всегда обеспечивает меньшую суммарную относительную погрешность измерения, чем произвольная. На основе использования параболической измерительной шкалы предложен новый метод измерения малосигнальных электрических величин. Полученный результат относится к предметной области прецизионных измерений электрических параметров в реальном времени. На основе проведенных исследований разработан метод нелинейного преобразования измеряемого электрического параметра (ток, напряжение), в соответствии с которым параболическая шкала используется непосредственно на этапе аналого-цифрового преобразования входного сигнала. Другим отличием метода от известных является использование управляемого разряда запоминающей емкости в схеме двойного интегрирования. Доказано, что данный метод обеспечивает меньшую суммарную относительную погрешность измерения по сравнению с широко распространенной линейной шкалой. Актуальность полученного результата состоит в том, что его применение позволяет достичь минимально-возможных значений суммарной погрешности измерений по сравнению с существующими в настоящее время. Разработанный метод может являться основой для создания прецизионных аналого-цифровых функционально-ориентированных процессоров нового типа.

Результаты работы соответствуют Критической технологии РФ № 13 «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем».

Основные публикации по направлению 31:

1. Lookin N.A., Shestakov S.G. IP-core for real-time navigation data processing // In Proc. of the 24nd International Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2014), Sevastopol, Crimea, 2014. – Vol. 1. – P. 415 -416. – ISBN: 978-966-335-412-5. IEEE Catalog Number: CFP14788. (SCOPUS).

2. Муйземек О.Ю., Коновалов А.В., Арзамасцев С.В. Гибридное автоматизированное проектирование молотовых поковок ступенчатых валов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2013. – № 6. – С. 32-36. (РИНЦ).



3. Канюков С.И., Коновалов А.В. Концепция управления процессом проектирования в САПР ТПковки // Программные продукты и системы. – 2014. – № 3. – С. 126-131. (РИНЦ).

4. Канюков С.И., Коновалов А.В. Генетический алгоритм проектирования основных переходов в САПР ТПковки валов // Программные продукты и системы. – 2015. – № 3. – С. 187-191. (РИНЦ).

5. Лукин Н.А., Рубин Л.С. Способ двухтактного аналого-цифрового преобразования интегрирующего типа и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2564909. МПК H03M 1/62 (2006.01). Опубликовано: 10.10.2015. Бюл. № 28.

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

1) Popova O.P., Peter Jenniskens P., Emel'yanenko V., Kartashova A., Biryukov E., Khaibrakhmanov S., Shuvalov V., Rybnov Y., Dudorov A., Grokhovsky V.I., Badyukov D.D., Q-Z. Yin Q-Z., Gural P.S., Albers J., Granvik M., Evers L.G., Kuiper J., Kharlamov V., Solovyov A., Rusakov Y.S., Korotkiy S., Serdyuk I., Korochantsev A.V., Larionov M.Yu., Glazachev D., Mayer A.E., Galen Gisler G., Gladkovsky S.V. et al. Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery, and Characterization // Scienceexpress. – 2013. – [http://www.sciencemag.org/content/early/recent / 7 November 2013 / Page 1 / 10.1126/science.1242642](http://www.sciencemag.org/content/early/recent/7%20November%202013/Page%201/10.1126/science.1242642). DOI: 10.1126/science.1242642. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 35,263), Scopus (импакт-фактор 13,12) и РИНЦ (<https://elibrary.ru/item.asp?id=21896718>).

2) A.L. Kazakov, L.F. Spevak. Numerical and analytical studies of a nonlinear parabolic equation with boundary conditions of a special form // Applied Mathematical Modelling. – 2013. – Vol. 37. – Issues 10-11. – P. 6918-6928. DOI: 10.1016/j.apm.2013.02.026. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 2,326), Scopus (импакт-фактор 2,67) и РИНЦ (<https://elibrary.ru/item.asp?id=20430153>).

3) Gorkunov E.S. A Correlation between the Magnetic Behaviour and Damage of Metal Materials under Plastic Deformations // Key Engineering Materials. – 2013. – Vol. 528. – P. 71-78. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.528.71. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 2,133), Scopus (импакт-фактор 0,24) и РИНЦ (<https://elibrary.ru/item.asp?id=20416230>).

4) A.S. Smirnov, A.V. Konovalov, V.G. Pushin, A.N. Uksusnikov, A.A. Zvankov, I.M. Zajcev. Peculiarities of the Rheological Behavior for the Al-Mg-Sc-Zr Alloy Under High-



Temperature Deformation // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2014. – Vol. 23. – No. 12. – P. 4271-4277. DOI: 10.1007/s11665-014-1211-5. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 1,094), Scopus (импакт-фактор 1,22) и РИНЦ (<https://elibrary.ru/item.asp?id=24009365>).

5) Sergey V. Smirnov and Evgeniya O. Smirnova. A Technique for Determining Coefficients of the “Stress-Strain” Diagram by Nanoscratch Test Results // Journal of Materials Research. – 2014. – Vol. 29. – No 16. – P. 1730-1736. DOI: 10.1557/jmr.2014.188. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 1,815), Scopus (импакт-фактор 1,48) и РИНЦ (<https://elibrary.ru/item.asp?id=24006302>).

6) Gorkunov E.S., Yakushenko E.I., Zadvorkin S.M., Mushnikov A.N. Effect of Elastic Deformation on Magnetic Characteristics of Chromium-Nickel Steels // Physics of Metals and Metallography. – 2015. – Vol. 116. – No. 2. – P. 147-155. (Горкунов Э.С., Якушенко Е.И., Задворкин С.М., Мушников А.Н. Влияние упругих деформаций на магнитные характеристики хромоникелевых сталей // Физика металлов и металловедение. – 2015. – Т. 116. – № 2. – С. 156-164). DOI: 10.1134/S0031918X15020076. Русская версия <https://elibrary.ru/item.asp?id=22908336>, DOI: 10.7868/S0015323015020072. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 0,794), Scopus (импакт-фактор 0,579) и РИНЦ (импакт-фактор 0,956).

7) N.B. Pugacheva, E.B. Trushina, N.P. Antenorova, E.I. Pugacheva. Comparative Studies of the Character of Destruction in 38Kh2N2MA and 12Kh2N4A Steel Gearwheel Teeth Operated under Extreme Conditions // Journal of Friction and Wear. – 2015. – Vol. 36. – No. 3. – P. 229-236. (Пугачева Н.Б., Трушина Е.Б., Антенорова Н.П., Пугачева Е.И. Сравнительные исследования характера разрушения зубьев шестерен из стали 38X2H2MA и стали 12X2H4A, работающих в экстремальных условиях // Трение и износ. – 2015. – Т. 36. – № 3. – С. 244-252). Русская версия <https://elibrary.ru/item.asp?id=23766464>. DOI: 10.3103/S1068366615030125. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 0,475), Scopus (импакт-фактор 0,56) и РИНЦ (импакт-фактор 0,719).

8) A.V. Makarov, R.A. Savrai, E.S. Gorkunov, A.S. Yurovkih, I.Yu. Malygina, N.A. Davydova. Structure, Mechanical Characteristics, and Deformation and Fracture Features of Quenched Structural Steel under Static and Cyclic Loading after Combined Strain-Heat Nanostructuring Treatment // Physical Mesomechanics. – 2015. – Vol. 18. – No. 1. – P. 43-57. (Макаров А.В., Саврай Р.А., Горкунов Э.С., Юровских А.С., Малыгина И.Ю., Давыдова Н.А. Структура, механические характеристики, особенности деформирования и разрушения при статическом и циклическом нагружении закаленной конструкционной стали, подвергнутой комбинированной деформационно-термической наноструктурирующей обработке // Физическая мезомеханика. – 2014. – Т. 17. – № 1. – С. 5-20). Русская версия <https://elibrary.ru/item.asp?id=21376089>. DOI: 10.1134/S1029959915010063. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 1,552), Scopus (импакт-фактор 1,74) и РИНЦ (импакт-фактор 1,019).



9) E.S. Gorkunov. Different remanence states and their resistance to external effects. Discussing the magnetic memory method // *Insight*. – 2015. – Vol. 57. – No. 12. – P. 709-717. DOI: 10.1784/insi.2015.57.12.709. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 0,535), Scopus (импакт-фактор 0,58) и РИНЦ (<https://elibrary.ru/item.asp?id=26927018>).

10) Makarov A.V., Soboleva N.N., Malygina I.Yu., Osintseva A.L. Formation of wear-resistant chromium-nickel coating with extra high thermal stability by combined laser-and-heat treatment // *Metal science and heat treatment*. – 2015. – V. 57. – Nos. 3-4. – P. 161-168. (Макаров А.В., Соболева Н.Н., Малыгина И.Ю., Осинцева А.Л. Формирование износостойкого хромоникелевого покрытия с особо высоким уровнем теплостойкости комбинированной лазерно-термической обработкой // *МиТОМ*. – 2015. – № 3 (717). – С. 39-46). Русская версия <https://elibrary.ru/item.asp?id=23049346>. DOI: 10.1007/s11041-015-9856-8. Индексируется в Web of Science (импакт-фактор 0,343), Scopus (импакт-фактор 0,23) и РИНЦ (импакт-фактор 0,852).

Монографии:

1. Дорогина Г.А., Балакирев В.Ф., Горкунов Э.С. Физико-химический анализ технологии получения порошковых магнитомягких материалов на основе железа. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. – 183 с. ISBN 978-5-7691-2335-1. Тираж 300.

2. Макаров А.В. Раздел 5. Технологические приёмы обеспечения износостойкости деталей, образующих пары трения. – С. 122-152 // *Трибология: международная энциклопедия*. Т. VI. Технологические методы повышения надёжности работы подвижных трибосопряжений / Ред. д-р техн. наук, профессор К.Н. Войнов – 2013. – 404 с. ISBN 978-5-906108-03-6. Тираж 400.

3. Оришич. А.М., Черепанов А.Н., Шапеев В.П., Пугачева Н.Б. Наномодифицирование сварных соединений при лазерной сварке металлов и сплавов. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2014. – 252 с. ISBN 978-5-7692-1379-3. Тираж 300.

4. Кузнецов П.А., Казаков А.Л. Аналитические решения начально-краевых задач с вырождением для нелинейного уравнения теплопроводности. – Изд-во: ФГБОУ ВПО “Иркутский государственный университет”, 2014. – 99 с. ISBN: 978-5-9624-1087-6. Тираж 100.

5. Митропольская С.Ю., Гервасьев М.А. Стандартизация перспективных материалов и методов их контроля. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 100 с. ISBN 978-5-321-02285-6. Тираж 100.

6. E.S. Gorkunov, R.A. Savrai, A.V. Makarov. Magnetic Techniques for Estimating Elastic and Plastic Strains in Steels Under Cyclic Loading // *Mechanics and Model-Based Control of Advanced Engineering Systems*. – SpringerLink, 2014. – P. 137-144. – DOI 10.1007/978-3-7091-1571-8_15. – http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-7091-1571-8_15. – Print ISBN 978-3-7091-1570-1. – Online ISBN 978-3-7091-1571-8. – Publisher: Springer Vienna. – Editors: Alexander K. Belyaev, Hans Irschik, Michael Kromme. – Belyaev, A. K., Irschik,



Hans, Krommer, Michael (Eds.), 2014, XVIII, 316 p. 141 illus., 64 illus. in color. ISBN 978-3-7091-1570-1. Тираж 500.

7. Макаров А.В. Фрикционная наноструктурирующая обработка стальных поверхностей // Глава в книге Конструкционные и функциональные материалы на металлической основе: учебное пособие / Под ред. А.А. Попова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 252 с. – Глава 4. С. 109-157. ISBN 978-5-7996-1089-0. Тираж 300.

8. Климова О.В. Эволюция способов организации вычислений. Формальный переход от алгоритмов к модели для операций цифровой обработки сигналов. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8 - 66121, Saarbrücken, Germany, 2013. – 64 с. ISBN 978-3-659-47369-2.

9. L.F. Koroleva, N.V. Cherednichenko, M.N. Dobrinskaya. Chapter 9. Doped Nanocrystalline Calcium Carbonate-Phosphate-Biomaterial with Transdermal Activity for Osteogenesis. – P. 231-247 // Book, edited by Ex. Ed. J.N. Govil. – Nanotechnology. Vol. 11. Biomaterials. – Author: Naveen Kumar Navani and Shishir Sinha. – Studium Press LLC, 2013 (USA-India). – 484 p. ISBN: 1-626990-11-5.

10. Королева Л.Ф. Биоматериал для активного остеогенеза с трансдермальной проницаемостью. Palmarium Academic Publishing OmniScriptum GmbH & Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8 - 66121, Saarbrücken, Germany, 2014. – 76 с. ISBN: 978-3-639-80420-1.

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

1. РФФ. Грант РФФ № 14-19-01358 “Исследование деформируемости, физико-механических свойств и структуры нано- и микродисперсных металломатричных композитов Al/SiC для научного обоснования технологий изготовления заготовок изделий конструкционного назначения методами высокотемпературной пластической деформации” в номинации “Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами”. (Руководитель проекта: зав. лаб., д.т.н. Смирнов С.В.). Срок выполнения: 2014-2016 гг., объем финансирования 13500 тыс. руб.

Результаты:

Проведены комплексные исследования деформационных свойств микродисперсного металломатричного композита (МММК) Al/55%SiC. На основании результатов экспериментов по деформации до разрушения образцов при различных видах испытаний: установлены количественные зависимости предельной пластичности МММК от температурно-скоростных условий и инвариантных характеристик напряженного состояния; получены зависимости, устанавливающие связь между накопленной поврежденностью, температурно-временными факторами и залечиванием деформационной поврежденности. Идентифицированы определяющие соотношения механики поврежденности для линейной модели накопления поврежденности, сформулированы критерии микроповрежденности при



пластической деформации. Выполнены тестовые расчеты накопления поврежденности в МММК при пластическом деформировании. На основании результатов количественного металлографического анализа и инструментированного индентирования получены данные для построения представительных объемов МММК. С использованием метода обратно-рассеянных электронов изучены физические процессы, ответственные за механизмы разупрочнения алюминиевой матрицы МММК при высокотемпературной пластической деформации. Методом наноиндентирования изучено изменение физико-механических свойств МММК после высокотемпературного деформирования. Получены данные о зависимости скорости ползучести и предела ползучести от температуры и растягивающей нагрузки. Построены определяющие соотношения для описания реологии МММК в диапазоне температур деформации 300-3500С и для алюминиевой матрицы МММК при околосolidусных температурах.

Проведены пластометрические испытания образцов из МММК В95/10%SiC при высоких и околосolidусных температурах, получены кривые сопротивления пластической деформации в диапазоне скоростей деформации 0,1 – 5 1 /сек.

Построена вычислительная модель МММК Al/20%SiC, позволяющая рассчитывать поля деформаций, поврежденности и внутренних напряжений на макро- и микромасштабных уровнях при высоких, в том числе и околосolidусных температурах, с учетом упруговязкопластических свойств и микроползучести структурных составляющих МММК.

2. РФФИ. Грант РФФИ № 11-08-01025_a “Научные основы создания наноструктурированных прецизионных стальных поверхностей с улучшенными функциональными свойствами”. (Руководители проекта: зав. лаб., д.т.н. Макаров А.В., зав. кафедрой Курганского государственного университета, к.т.н. Кузнецов В.П.). Срок выполнения: 2011-2013 гг., объем финансирования 1860 тыс. руб.

Результаты:

Показано, что наноструктурированный слой, сформированный на поверхности закаленной и обработанной холодом эвтектоидной стали У8 (0,83 мас. % С) фрикционной обработкой в условиях трения скольжения в одноименной паре “сферический индентор-плоский образец”, обладает повышенным сопротивлением разупрочнению (повышенной теплостойкостью) по сравнению с недеформированной закаленной и обработанной холодом сталью в условиях длительных (до 20 ч) выдержек при температурах 350-550 °С. Электронно-микроскопическими и рентгеновскими исследованиями установлено, что это обусловлено сохранением в сильнодеформированном слое преимущественно нанокристаллической структуры при длительном (20 ч) нагреве до температуры 350 °С, замедленным развитием в условиях длительного термического воздействия процессов образования карбидных частиц, возврата в α -фазе и роста рекристаллизованных зерен, а также отсутствием даже при продолжительных высокотемпературных (550 °С) выдержках аномального роста отдельных рекристаллизованных зерен вблизи поверхности трения.



Установлено, что реализованное на обрабатывающем центре наноструктурирующее выглаживание с высоким коэффициентом трения ($f \approx 0,3$) при использовании индентора из мелкодисперсного нитрида бора и безокислительной среды обработки обеспечивает более эффективный рост микротвердости, а также сопротивления абразивному и адгезионному изнашиванию цементованной низкоуглеродистой стали, чем алмазное выглаживание с низким коэффициентом трения ($f \approx 0,1$).

Показано, что рост износостойкости сталей при абразивном воздействии и трении скольжения без смазки и со смазкой в результате наноструктурирующих фрикционной и комбинированных деформационно-термических обработок связан с ограничением на упрочненных поверхностях процессов микрорезания (вплоть до смены преобладающего механизма изнашивания от микрорезания к царапанию), схватывания и пластического оттеснения. Это обусловлено повышенной способностью наноструктурированного поверхностного слоя сопротивляться пластическому деформированию под действием контактного механического воздействия, на что указывают данные кинетического микроинден-тирования.

3. Грант РФФИ № 13-07-00531 “Разработка концепции построения интегрированной интеллектуальной системы проектирования технологических процессовковки на молотах”. (Руководитель проекта: зав. лаб., д.т.н. Коновалов А.В.). Срок выполнения: 2013-2015 гг., объем финансирования 600 тыс. руб.

Результаты:

Построены стратегии и гипотезы, используемые для получения и обоснования решений в процессе проектирования. Выделены типы ограничений для получения и обоснования решения задач проектирования технологических процессовковки поковок на молотах. Разработаны протоколы действий и рассуждений, на которых базируется система при разработке техпроцессаковки. Разработана стратегия взаимосвязанного и согласованного поведения агентов встроенного в САПР ТПковки мультиагентного графического редактора, позволяющая получать легко читаемый чертеж детали и поковки. Создан действующий прототип интеллектуальной гибридной системы проектирования технологииковки поковок типа валов на молотах.

4. Грант РФФИ № 13-01-00732 “Разработка новых методов оценки изменений конструктивной прочности материалов при эксплуатации на основе создания связанных моделей механики поврежденности и магнитного гистерезиса материалов при упругопластической деформации”. (Руководитель проекта: академик РАН Горкунов Э.С.). Срок выполнения: 2013-2015 гг., объем финансирования 1650 тыс. руб.

Результаты:

Показано, что учет локального уровня остаточных напряжений и ослабления механических свойств, определенных с использованием неразрушающих методов контроля, может существенно скорректировать результаты прогнозных оценок конструктивной прочности тяжело нагруженного изделия с концентраторами напряжений. Разработана



методология прогнозной оценки напряженно-деформированного состояния элементов конструкций, учитывающую локальную неоднородность механических свойств и наличие поля внутренних напряжений, которая может быть использована для оценки фактической конструктивной прочности элемента конструкций.

Разработана модель, связывающая накопленную деформационную поврежденность и характеристики магнитного гистерезиса. Показана возможность определения с помощью этой модели степени пластической деформации и связанной с ней структурной поврежденности металла по магнитным параметрам частных петель магнитного гистерезиса.

Исследовано влияние упругого деформирования одноосным растяжением (сжатием) в комбинации с кручением и гидростатическим давлением во внутренней полости образцов на магнитные характеристики некоторых марок конструкционных сталей. На серии петель магнитного гистерезиса обнаружены значения напряженности поля, при которых намагниченность слабо зависит от приложенных напряжений. Существование таких областей «устойчивости» необходимо учитывать при магнитном методе контроля механических напряжений. Впервые реализован новый подход – использование магнитных и акустических характеристик материала для оценки инвариантных параметров его напряженного состояния. В частности, для стали 09Г2С при различных значениях параметра Лодэ построены диаграммы «интенсивность напряжений – коэрцитивная сила», по которым, зная вид нагружения, можно оценить интенсивность напряжений по величине коэрцитивной силы.

На примере образцов трубной стали класса прочности К60 (Х70) установлено, что предыстория в виде пластической деформации сказывается на закономерностях изменения магнитных параметров материала при его последующем упругом деформировании. Тем самым показана необходимость учета исходного напряженно-деформированного состояния (НДС) металлоконструкций при разработке магнитных методов определения параметров их НДС в процессе эксплуатации.

Показана возможность вихретокового контроля начальных стадий трещинообразования при «жестком» циклическом нагружении закаленной стали 50, подвергнутой деформационно-термической обработке, которая основана на обнаруженном новом эффекте снижения показаний вихретокового прибора, связанном с ростом электросопротивления тонкого поверхностного слоя при трещинообразовании. Проведен комплексный сравнительный анализ особенностей разрушения при статическом и циклическом растяжении стали У10 с перлитными структурами различного типа. Рассмотрена стойкость к питтинговой коррозии стали У10 с различными перлитными структурами и установлено, что наилучшей стойкостью к питтинговой коррозии из исследованных структурных состояний обладает неравновесная структура тонкопластинчатого перлита. Разработана методика поверхностной упрочняющей фрикционной обработки стали У10 со структурой тонкопластинчатого перлита. Разработана методика механических испытаний на контактную усталость металлических материалов по схеме пульсирующего контакта «шар-плоскость» и проведены



сравнительные контактно-усталостные испытания стали У10 со структурой тонкопластинчатого перлита с электрополированной поверхностью и после фрикционной обработки. Разработана и апробирована применительно к NiCrBSi покрытиям методика неразрушающего контроля усталостной деградации металлических материалов после контактно-усталостного нагружения с помощью вихретокового метода.

5. Грант РФФИ № 13-08-00989 “Сравнительное исследование кратковременной высокотемпературной ползучести и релаксации напряжений титановых сплавов в газовых средах”. (Руководитель проекта: зав. лаб., д.т.н. Смирнов С.В.).

Срок выполнения: 2013-2015 гг., объем финансирования 1500 тыс. руб.

Результаты:

Получены экспериментальные данные о скорости термоциклической ползучести для титановых сплавов BT1-0, BT5 и BT6 в агрессивных (водород, азот, воздух) и инертных (аргон, гелий) газовых средах по отношению к титану. На основе экспериментальных данных установлены эмпирические зависимости, связывающие среднюю скорость ползучести, условный предел ползучести в условиях термоциклирования с треугольным циклом «нагрев-охлаждение» и амплитудные значения температуры нагрева, величины номинального растягивающего напряжения. Получены экспериментальные данные об изменении механических свойств титановых сплавов BT1-0, BT5 и BT6 в агрессивных (водород, азот, воздух) и инертных (аргон, гелий) газовых средах по отношению к титану. Проведены исследования и получены новые экспериментальные данные о релаксации напряжений в образцах сплава BT6 в агрессивных (азот, воздух) и инертных (аргон, гелий) газовых средах при высоких температурах и различных уровнях начальных напряжений. На основе обобщения полученных за период выполнения гранта установлены общие закономерности влияния газовых сред на ползучесть и релаксацию напряжений титановых сплавов, построена обобщенная структурно-феноменологическая модель ползучести и релаксации напряжений титановых сплавов с учетом влияния газовых сред.

6. Грант РФФИ № 13-08-00186 “Математические модели деформирования и методы расчета предельной несущей способности механических систем с разупрочняющимися элементами”. (Руководитель проекта: гл.н.с., д.ф.-м.н. Стружанов В.В.).

Срок выполнения: 2013-2015 гг., объем финансирования 1380 тыс. руб.

Результаты:

Построена модель материала Генки с разупрочнением для полярносимметричного деформирования при отрицательном шаровом тензоре напряжений. Вычислены остаточные напряжения в пространстве со сферической полостью и в сферическом сосуде из материала Генки с разупрочнением. Разработан алгоритм расчёта напряжённого состояния в упругопластическом пространстве из материала Генки с разупрочнением со сферической полостью под действием внутреннего давления. Построены итерационные схемы расчёта напряжений в прямоугольных балках из нелинейного разупрочняющегося материала при чистом изгибе.



Рассмотрена задача о пакете, составленного из стержней разной длины из разупрочняющегося материала, под действием остаточных напряжений. Разработана методика, основанная на применении аппарата математической теории катастроф по определению момента потери устойчивости самоуравновешенных напряжений. Распространение идеологии осуществлено при исследовании несущей способности балки прямоугольного сечения из разупрочняющегося материала при чистом изгибе и растяжении. Создана методика определения предельной нагрузки, что позволяет рассчитать реальную предельную нагрузку, которая, как показали расчёты, на несколько процентов превышает вычисленную по традиционным методикам сопротивления материала.

Решена задача о расчёте параметров равновесных состояний и определения предельной несущей способности балки прямоугольного сечения из упругопластического и упруго-хрупкого разупрочняющегося материалов. Предложена методика расчёта оптимальных остаточных напряжений для повышения несущей способности цилиндрических балок при их растяжении с изгибом. Оптимальность трактуется как наиболее позднее достижение предела текучести.

7. РФФИ № 15-08-06754_A (мол_a_2014) “Разработка и использование нового метода контактного гигациклового усталостного нагружения с ультразвуковой частотой по схеме «плоскость-плоскость» для исследования усталостной деградации конструкционных металлических материалов”. (Руководитель проекта: зав. лаб., к.т.н. Саврай Р.А.).

Срок выполнения: 2015-2018 гг., объем финансирования 1680 тыс. руб.

Результаты:

Проведена модернизация ультразвуковой установки и разработана новая методика испытаний на контактную усталость с ультразвуковой частотой нагружения по схеме «плоскость-плоскость». Длительные многочасовые испытания показали стабильную работу установки. Образовавшиеся в результате испытаний пятна контакта на поверхности исследуемого материала свидетельствовали о том, что в целом обеспечивается необходимая для испытаний на контактную гигацикловую усталость по схеме «плоскость-плоскость» геометрия контакта индентора с образцом. Впервые проведены механические испытания на контактную гигацикловую усталость на базе 1 млрд. циклов с ультразвуковой частотой нагружения по схеме пульсирующего ударного контакта «плоскость-плоскость» коррозионностойкой аустенитной стали 05X17H8T и установлено существенное изменение состояния поверхности материала в зависимости от числа циклов нагружения. Предварительные оценки показали последовательное изменение структурно-фазового состояния поверхности стали 05X17H8T с увеличением количества циклов контактно-усталостного нагружения.

8. РФФИ № 14-08-31313 (мол_a_2014) “Исследование влияния упругопластической деформации на структуру и физико-механические свойства перспективных азотсодержащих сталей, а также их сварных соединений”. (Руководитель проекта: н.с., к.т.н. Путилова Е.А.).

Срок выполнения: 2013-2015 гг., объем финансирования 1200 тыс. руб.



Результаты:

Исследовано влияние приложенных нормальных и касательных напряжений, а также их комбинации на структуру, фазовый состав и магнитные свойства трех марок высокоазотистых сталей (ВАС). Две из исследованных сталей в исходном состоянии обладали аустенитной структурой и проявляли диамагнитные свойства. Третья сталь по данным рентгеноструктурного и металлографического анализа, имела в своем составе 7% δ -феррита, что обуславливало проявление ферромагнитных свойств. Исследованные в работе азотсодержащие стали продемонстрировали стабильность фазового состава, а также магнитных свойств при различных условиях нагружения. Установлены параметры, которые могут быть использованы в качестве информативных при оценке изменений, происходящих при изготовлении и эксплуатации деталей и элементов конструкции из высокоазотистых сталей с небольшим содержанием δ -феррита. Проведено также исследование микроструктуры, тонкой структуры, механических и магнитных свойств металла, вырезанного из сварного шва и околошовной зоны сварного соединения высокопрочной азотсодержащей аустенитной стали 04X20H6Г11М2АФБ. Изучены закономерности изменения магнитных параметров исследуемых материалов при реализации различных схем нагружения: растяжение, кручение, внутреннее давление, комбинация растяжения с кручения. Исследования показали, что металл, вырезанный из различных зон сварного соединения, как основной металл, демонстрирует стабильность фазового состава, а также магнитных свойств при различных условиях нагружения, следовательно, могут быть использованы для изготовления деталей и элементов конструкций, требующих низкой намагниченности и высокой стабильности магнитных характеристик при силовом воздействии.

9. РФФИ № 14-08-31673 (мол_а_2014) “Разработка физических основ повышения циклической трещиностойкости перспективных слоистых металломатричных композиционных материалов, полученных методами интенсивного деформационного и высокоэнергетического воздействия”. (Руководитель проекта: инженер м.н.с. Каманцев И.С.).

Срок выполнения: 2013-2015 гг., объем финансирования 1200 тыс. руб.

Результаты:

Определено влияние состава, технологии изготовления и конструкции слоистых металломатричных композиционных материалов (толщина и характер чередования слоев), полученных методами накопительной пакетной прокатки и сварки взрывом, на кинетику роста усталостных трещин, микромеханизмы разрушения и интенсивность накопления послышной поврежденности. Выявлены особенности распространения усталостных трещин в слоистых сталеалюминиевых и стальных композитах на основе соединений 09Г2С-АМц-09Г2С и 09Г2С-ЭП678-09Г2С. Разработаны физические основы выбора оптимального сочетания слоев из разнопрочных металлических материалов и конструкций композитов, обеспечивающих повышенное сопротивление распространению усталостных трещин.

10. РФФИ № 14-08-31262 (мол_а_2014) “Структурно-феноменологическая модель и экспериментальные исследования реологического поведения Al-Mg-Sc-Zr сплавов в



условиях механотермического воздействия". (Руководитель проекта: с.н.с., к.т.н. Смирнов А.С.).

Срок выполнения: 2013-2015 гг., объем финансирования 1200 тыс. руб.

Результаты:

Проект направлен на решение проблемы управления формирования комплекса физико-механических свойств Al-Mg-Sc-Zr сплавов путем оптимального деформационного и термического воздействия, которое обеспечивает их высокую прочность и долговечность в экстремальных условиях эксплуатации. Получены экспериментальные данные о реологии сплавов 01560 и 01570 в диапазоне изменения скоростей деформации от 0,05 и до 1 1/с и температур горячей деформации от 300 до 500 градусов Цельсия. На основании проведенных исследований построена и верифицирована математическая модель, учитывающая в сплавах 01560 и 01570 процессы упрочнения и разупрочнения, которые были исследованы методом дифракции обратнорассеянных электронов.

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

Информация не предоставлена

Внедренческий потенциал научной организации

18. Наличие технологической инфраструктуры для прикладных исследований

Информация не предоставлена

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

За период 2013-2015 гг. ИМАШ УрО РАН были внедрены 32 разработки, ниже приведены 10 из них, наиболее значимые разработки.



1. Технические решения по обеспечению требуемых характеристик заготовок деталей перспективного образца ракетной техники, получаемых методами обработки давлением, в том числе крупногабаритных элементов конструкций при штамповке на уникальном прессе усилием 75 000 т.

Оригинальной основой разработки являются авторские модели поврежденности и сопротивления деформации металлов при пластическом формоизменении, их методическое и аппаратное обеспечение. Технические решения внедрены на АО «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева».

Область применения: производство стратегических ракетных комплексов.

Государственный Заказчик – Министерство обороны РФ.

Бизнес-партнер: АО «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева».

2. Технология получения методом горячей прокатки листовых бороалюминиевых композиционных материалов (боралей) с функцией нейтронной защиты.

Технология предполагает горячую прокатку порошковой смеси в замкнутой оболочке и комбинированным методом, включающим предварительное прессование порошковой смеси алюминия и карбида бора, экструдирование первичной заготовки и последующее нанесение лакирующих слоев из Al-сплава.

Область применения: разработанная технология, защищенная 2 патентами РФ, может быть использована для организации опытно-промышленного производства на предприятиях атомной промышленности чехловых корзин транспортно-упаковочных контейнеров для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива как замена используемой в настоящее время для этих целей боросодержащей стали с более высоким удельным весом, недостаточными теплофизическими свойствами и пониженным сопротивлением хрупкому разрушению.

Сведения об апробации и внедрении: технология прошла апробацию в лабораторных условиях на производственном участке Института и в опытно-промышленных условиях на ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод». Получены в заданном количестве листовые Al/B4C-композиты толщиной 6 – 10мм и шириной 150 – 1000 мм. Показано, что по своим физико-механическим свойствам опытно-промышленные образцы листовых композитов сопоставимы с образцами, полученными в лабораторных условиях. Выбрано необходимое технологическое оборудование, разработаны конструкции пакетов, подготовлена оснастка для проведения процесса получения листовых бороалюминиевых композитов в условиях промышленного предприятия. Технология готова к промышленному использованию.

Бизнес-партнер: ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабина».

3. Автоматизированный мобильный портативный измерительно-программный комплекс кинетического индентирования ИПК «ИНДЕНТОР-2».



ИПК позволяет осуществлять внелабораторные испытания механических свойств и внутренних напряжений материалов механизмов и элементов конструкций, автоматически производить до 30 измерений и обрабатывать их результаты. Основной элемент конструкции – платформа базирования – защищена патентом на полезную модель.

Оригинальная разработка. Разработка внедрена в практику проведения экспертных работ, выполняемых Институтом по заказам промышленных предприятий и организаций. Многократно использована при проведении экспертных работ по оценке текущего состояния и продления сроков безопасной эксплуатации сверх гарантийных для объектов железнодорожного транспорта, ракетной техники, строительных металлоконструкций и др.

4. Автоматизированная система управления блокировкой гидротрансформатора многоцелевой транспортной машины.

Оригинальная разработка, защищенная патентом РФ. Система позволяет в процессе движения транспортной машины определять необходимость и осуществить оптимальное управление блокировкой гидротрансформатора трансмиссии из условия минимизации работы буксования фрикциона блокировки и ограничения динамической нагруженности, что создает предпосылки для повышения долговечности элементов конструкции моторно-трансмиссионной установки транспортной машины. Проведены ходовые испытания и получены положительные результаты на модернизируемых в процессе сервисного обслуживания и ремонта армейских многоосных тяжелых тягачах КЗКТ-7428 и МАЗ-537.

Бизнес-партнер: ООО «НПП «Технотранс» (г. Курган).

5. Гусеница транспортной машины.

В процессе движения транспортной машины по малодеформируемым грунтам (мерзлый грунт, асфальт, бетон, горная дорога) предлагаемая конструкция позволяет исключить резонансные параметрические колебания опорных катков быстроходных гусеничных машин за счет снижения параметра глубины модуляции жесткости упругого взаимодействия в контакте «шина опорного катка – обрешиненная беговая дорожка гусеницы». Оригинальная разработка, защищенная патентом РФ. Внедрена в конструкцию единой модульной платформы гусеничной бронетехники «Курганец-25» (БМП, БТР, ремонтно-эвакуационная машина), разработанной ООО «Специальное конструкторского бюро машиностроения» (г. Курган). Изготовлены опытные образцы техники, которые проходят предварительные испытания перед началом государственных испытаний.

Бизнес-партнер: АО «Курганмашзавод».

6. Контроль качества термической обработки труб нефтегазового сортамента методами магнитной структуроскопии.

Разработаны методики контроля качества термического упрочнения труб нефтегазового сортамента. Разработка выполнена на основе результатов исследований влияния режимов термической обработки (температуры закалки, закалочной среды и температуры отпуска) на структуру, механические и магнитные свойства трубных сталей марок 22ХГ2А, 30ХМА



и 32Г2. Установлены информативные параметры, позволяющие достаточно точно и оперативно осуществлять неразрушающий контроль качества термической обработки изделий из этих сталей.

Завершена стадия лабораторных испытаний на образцах серийно изготавливаемых труб. Результаты разработки могут быть использованы на предприятиях трубной промышленности.

Бизнес-партнер: ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности».

7. Определен комплекс прочностных и трибологических свойств, характеристик ударной вязкости и трещиностойкости перспективных конструкционных сталей с азотом при различных температурно-силовых условиях нагружения и разработаны неразрушающие методы контроля состояния изделий из этих сталей.

Разработка выполнена на основе изучения влияния содержания азота и соотношения легирующих элементов в рамках одного базового состава стали системы Fe-Cr-Mn-Ni-N и установлено, что их варьирование может привести к переходу стали из аустенитного класса в аустенитно-ферритный. Построены диаграммы живучести, циклической трещиностойкости и температурные зависимости характеристик ударной вязкости и ее составляющих (работа зарождения и распространения трещины) в широком интервале температур испытаний. Установлены высокие характеристики износостойкости исследованных сталей в условиях трения скольжения без смазки в широком интервале температур. Исследовано влияние упругопластической деформации на магнитные характеристики основного металла, металла околошовной зоны и металла шва сварных соединений азотсодержащих сталей. Разработка прошла стадию лабораторных испытаний.

Область применения: результаты разработки могут быть использованы в судостроении при строительстве судов ледового класса, а также при изготовлении корпусов кораблей, для которых требуются низкая намагниченность и высокая стабильность магнитных характеристик при силовом воздействии.

Бизнес-партнер: ФГУП "Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов "Прометей" имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра "Курчатовский институт".

8. Механическая бесступенчатая передача с регулируемой внутренней силовой функцией, обеспечивающая бесконечный кинематический и значительный силовой диапазоны.

Суть разработки заключается в том, что механические бесступенчатые передачи осуществляется колебательным движением внутренних звеньев, в которых трансформация потока энергии производится с использованием кинетической и потенциальной энергии механической системы. При этом обеспечивается внутренняя автоматичность – способность самопроизвольного изменения передаточного отношения при изменении нагрузки. Использование потенциальной энергии позволяет получать регулируемую автоматичность и более успешно решать ряд практических задач.



Разработка представляет собой новый тип механических бесступенчатых передач. Бесступенчатость обеспечивается как за счет саморегулирования, так и за счет регулирования амплитуды колебаний при использовании упругих сил. Такие передачи имеют колебательные движения внутренних звеньев, механизмы свободного хода и упругие элементы – торсионные валы, при деформации которых возникают силовые функции, равные потенциальной энергии упругой деформации, взятой со знаком минус. Рассматриваемая передача позволяет путем отдельного регулирования внутренней силовой функции (амплитуды колебаний внутренних звеньев) и частоты вращения вала, обеспечить оптимальную нагрузочную характеристику двигателя внутреннего сгорания. При этом передача имеет бесконечный кинематический и значительный силовой диапазоны. Предложенные принципы построения систем автоматического регулирования таких передач обеспечивают загрузку двигателя по экономичному режиму при любой потребной мощности потребителя энергии. Предназначена для использования в трансмиссиях транспортных и тяговых машин.

Изготовлен и испытан экспериментальный образец передачи с регулируемой силовой функцией. Выполнена экспериментальная проверка работоспособности силовых и электронных элементов системы управления.

Бизнес-партнер: ООО «ЭНЕРГОТЕХЦЕНТР» (г. Курган).

9. Прототип функционально-ориентированного процессора на базе программируемых логических интегральных схем для реализации алгоритмов инерциальной навигации в реальном времени.

В состав разработки входит проект процессорного ядра функционально-ориентированных процессоров (ФОП) с архитектурой длинного командного слова и одноканального выполнения команд, специализированный язык программирования (рабочее название – DAPlang 1.0), который имеет уровень алгоритмических конструкций операторов, максимально приближенный к уровню обработки данных в аппаратных модулях ядра, а также модульный характер командного слова. Разработанное программное обеспечение позволяет компилировать исходные тексты программ на языке DAPlang 1.0 в объектный код целевого процессора.

Актуальность и значимость разработки состоит в том, что он является одной из основ системы автоматизированного проектирования архитектур бортовых ФОП для навигационных систем. Разработка доведена до функционирующего прототипа. Апробация ФОП производилась совместно со специалистами ОАО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова» на примере реализации алгоритмов инерциальной навигации для одного класса высокоманевренных объектов ракетной техники. Оценки времени реализации алгоритмов на разработанном ФОП показали, что архитектурная производительность разработанного ФОП выше отечественных аналогов в 5 - 7 раз.



Разработка может быть использована для создания сверхбольшой интегральной схемы навигационного процессора, для бесплатформенных навигационных системах малогабаритных летательных и космических аппаратов гражданского и специального назначения.

Бизнес-партнер: ОАО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова».

10. 4-х канальный измеритель наноамперных токов.

Разработка основана на ранее разработанном оригинальном методе нелинейного аналого-цифрового преобразования и его применение позволяет достичь минимально-возможных значений суммарной погрешности измерений по сравнению с существующими в настоящее время. Разработка относится к предметной области методов и средств измерений электрических параметров в реальном времени. Оригинальная разработка, защищенная патентом РФ.

Область применения: приборы неразрушающего контроля и дефектоскопии, компьютерная томография и др. измерительно-преобразовательные подсистемы.

Проведены лабораторные испытания с использованием стандартной поверенной аппаратуры (калибратор токов Keythley).

Бизнес-партнер: ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина».

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

1. По поручению Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А.Д. Дворковича от 18 апреля 2013 г. № АД-П9-2655 подготовлено экспертное заключение по проекту доклада в Правительство РФ “Проведение комплексного анализа технологии производства литых деталей для вагоностроения с целью выработки мер по совершенствованию технологии литейного производства и актуализации нормативно-технических требований (ГОСТов) к этой продукции”. Доклад подготовлен в соответствии с “Планом мероприятий, направленных на обеспечение безопасности производства и эксплуатации железнодорожного подвижного состава”, утвержденным Заместителем Председателя Правительства РФ А. В. Дворковичем, для Министерства промышленности и торговли



Российской Федерации. Департамент транспортного и специального машиностроения (письмо № 20-1896 от 04.06.2013).

2. По поручению Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А.Д. Дворковича от 18 апреля 2013 г. № АД-П9-2655 подготовлено экспертное заключение о содержании документа “Методика отнесения грузовых вагонов к категории со сниженным уровнем эксплуатационной безопасности по показателям надежности и функциональной безопасности литых деталей тележек (рам боковых)” для Министерства промышленности и торговли Российской Федерации. Департамент транспортного и специального машиностроения (письмо № 20-2793 от 06.08.2013).

3. По поручению Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А.Д. Дворковича от 18 апреля 2013 г. № АД-П9-2655 подготовлено экспертное заключение о содержании ГОСТов: “Рама боковая и балка наддресорная. Литые детали тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия” и “Тележки двухочные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия” для Министерства промышленности и торговли Российской Федерации. Департамент транспортного и специального машиностроения (письмо № 20-3049 от 21.08.2013).

4. Оказание консультационных услуг Региональному филиалу Федеральной таможенной службы Центрального экспертно-криминалистического таможенного управления по вопросам технологии изготовления полуфабрикатов и изделий из черных и цветных металлов, перемещаемых через таможенную границу Таможенного союза, с целью однозначной идентификации указанных товаров в соответствии с Товарной номенклатурой внешнеэкономической деятельности Таможенного союза. Письмо Начальника Региональный филиал Федеральной таможенной службы Центрального экспертно-криминалистического таможенного управления Мирнова В.В. с благодарностью за оказанные консультации. Серия 595 № 019377.

5. Участие в Межведомственной приемочной комиссии в государственных испытаниях Государственного первичного специального эталона единицы длины в области измерений отклонений от прямолинейности и плоскостности ГЭТ 130-80 после его совершенствования, выполненного ФГУП “УНИИМ” (письмо от директора ФГУП “УНИИМ” С.В. Медведевских 29.09.2014 г. 180914 № 233/5119) Смирнова С.В. в качестве председателя комиссии.

6. Участие в работе комиссии по государственным испытаниям государственного первичного специального эталона единицы поверхностной плотности покрытий ГЭТ 168-2010, прошедшего совершенствование в 2015 году, Смирнова С.В. в качестве члена комиссии. Материалы на эталон предусмотрены Р 50.2.078-2011.

7. Проведение в 2014 г. экспертизы проекта ГОСТ по магнитному неразрушающему контролю «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы» на базе ГОСТ 21105 сотрудником ИМАШ УрО РАН Задворкиным С.М. как представителем ИМАШ УрО РАН в Техническом комитете по стандартизации 371



(подкомитет 4а – Магнитные методы) Федерального агентства по техническому регулированию и стандартизации (Росстандарт).

8. Проведение в 2014 г. экспертизы проекта ГОСТ по магнитному неразрушающему контролю «Контроль неразрушающий. Проникающий контроль и магнитопорошковый метод. Выбор параметров» на базе ISO сотрудником ИМАШ УрО РАН Задворкиным С.М. как представителем ИМАШ УрО РАН в Техническом комитете по стандартизации 371 (подкомитет 4а – Магнитные методы) Федерального агентства по техническому регулированию и стандартизации (Росстандарт).

9. Ежегодное привлечение к экспертизе проектов сотрудника ИМАШ УрО РАН Тараторкина И.А. как члена конкурсной комиссии Правительства Курганской области по отбору субъектов малого и среднего предпринимательства и организаций, образующих инфраструктуру поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства, для оказания поддержки.

10. Ежегодное привлечение к экспертизе проектов сотрудника ИМАШ УрО РАН Просвирякова Е.Ю. как эксперта Фонда содействия развитию малых форм предприятия в научно-технической сфере в республике Татарстан.

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

Всего в 2013 – 2015 гг. было выполнено 118 хозяйственных договоров и контрактов на выполнение НИР и ОКР с 72 организациями. Ниже приведены 10 наиболее значимых выполненных договоров.

1. Контракт №38/2012 с АО «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева» (г. Миасс, Челябинская обл.) на выполнение ОКР в рамках Государственного контракта № Н/2/5/11-11-ДГОЗ от 21.07.2011 (Государственный Заказчик МО РФ) «Разработка технических решений по обеспечению требуемых характеристик заготовок деталей с оценкой их допускаемой интегральной поврежденности на основе расчета напряженно-деформированного состояния», шифр темы «Сармат-ИМАШ».

Результаты.

С использованием концепции безопасной технологической поврежденности, экспериментальных исследований реологических свойств и структуры применяемых металлических материалов и математического моделирования процессов деформации были разработаны технологии изготовления элементов конструкций перспективной БРПЛ, получаемых методами пластического формоизменения, в том числе на прессе усилием 75000 т.



2. Договор НИР № СЗ/008/1546 с Институтом проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова (г. Москва) по теме «Экспериментальные исследования влияния деформации корпусных конструкций на параметры их магнитного поля и выработка рекомендаций по совершенствованию математических моделей канала управления специализированного бортового комплекса» в рамках выполнения Государственного контракта с МО РФ № 1516187201432010105001367/488/ЗКЕ/2015/ДКЗ/ГОЗ/СЗ-008-15/46 (составная часть НИР), шифр темы «Странник-ИМАШ».

Результаты.

Проведены экспериментальные исследования влияния упругой деформации по схемам одноосного растяжения/сжатия, кручения, изгиба, внутреннего давления и их комбинаций на магнитное состояние модельных образцов корпусных конструкций из стали АК35-СВ, находящихся в размагниченном, остаточно намагниченном состояниях, а также во внешнем магнитном поле, с учетом влияния магнитного поля Земли. Построена аналитическая модель, описывающая изменения магнитного состояния исследованных образцов, находящихся в слабых магнитных полях, при некоторых видах силового воздействия. Выработаны предложения в проект тактико-технического задания на ОКР по созданию опытного образца специализированного бортового комплекса.

3. Договор НИР № 414/189 с ФГУП «НПО автоматики» им. академика Н.А. Семихатова» (г. Екатеринбург, Свердловская область) по теме «Исследование принципов организации высокопроизводительных бортовых вычислительных систем на основе функционально-ориентированных процессоров для перспективных ракетно-космических комплексов и оптимизации способов управления для повышения эффективности ракетно-космических комплексов».

Результаты.

Разработан прототип функционально-ориентированного процессора на базе программируемых логических интегральных схем для реализации алгоритмов инерциальной навигации в реальном времени. В состав разработки входит проект процессорного ядра функционально-ориентированных процессоров (ФОП) с архитектурой длинного командного слова и одноканального выполнения команд, специализированный язык программирования DAPlang 1.0, который имеет уровень алгоритмических конструкций операторов, максимально приближенный к уровню обработки данных в аппаратных модулях ядра, а также модульный характер командного слова.

4. Договор НИР 11/2013 с ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (г. Санкт-Петербург) по теме «Определение магнитных характеристик металла различных зон сварных конструкций из высокопрочных сталей».

Результат.

Исследовано влияние технологий изготовления сварных соединений при строительстве подводных кораблей на уровень магнитных характеристик металла конструкций для



обеспечения минимизации остаточной намагниченности для повышения скрытности по магнитным полям.

5. Договор НИР № 14/2012 с ФГУП «НПО автоматики» им. академика Н.А. Семихатова» (г. Екатеринбург, Свердловская область) по теме «Разработка математической модели, описывающей напряженное состояние от статической нагрузки и свободные колебания кабины машиниста локомотива ТЭ8».

Результаты.

Разработаны математические модели, описывающие напряженно-деформированное состояние конструкции от действия статических нагрузок и математическая модель, описывающая свободные колебания конструкции. Первая математическая модель позволила оценить прочность кабины машиниста по допускаемым напряжениям, а вторая математическая модель позволила определить спектр частот свободных колебаний и формы соответствующих колебаний исследуемой конструкции. Определены максимальные напряжения, оценены прочность, собственные частоты и формы колебаний конструкции. Сформулированы рекомендации по доработке кабины машиниста локомотива ТЭ8.

6. Договор НИР № 006.640/2768 с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Заббахина» (г. Снежинск, Челябинской обл.) «Разработка технологических основ производства и получения опытно-промышленных образцов листовых Al/V4C-композитов с функцией нейтронной защиты».

Результаты:

Установлено влияние состава порошковых материалов, конструкции пакетов и технологических режимов горячей прокатки на микроструктуру, важнейшие физико-механические и технологические свойства опытных образцов листовых Al/V4C-композитов с функцией нейтронной защиты, полученных в лабораторных и опытно-промышленных условиях. Разработаны технологические основы процесса получения скомпактированной прослойки из смеси порошков карбида бора и алюминия методом горячей прокатки в стальной оболочке с одновременным нанесением плакирующих слоев из сплава AMг3 применительно к условиям промышленного производства.

7. Договор НИР № 10/2013 с ОАО «Уралбурмаш» (г. Нижние Серьги, Свердловская область) по теме «Комплексное исследование деталей буровых долот».

Результат.

Проведено комплексное исследование деталей буровых долот и наплавочных материалов для долот. Исследованы химический состав, структура, сплошность металла, твердость, прочностные свойства и деформируемость при механических испытаниях на сжатие тел качения четырех видов. Определена абразивная износостойкость наплавов при изнашивании по закрепленному абразиву различных видов. Исследованы механизмы изнашивания наплавов на основе электронно-микроскопического изучения поверхностей и продуктов абразивного изнашивания. Выработаны рекомендации для оптимизации технологического процесса производства буровых долот.



8. Договор НИР № 1/201-1 с ООО «Предприятие «Сенсор» (г. Курган, Курганская область) по теме «Исследование влияния фрикционных и выглаживающих обработок на токарно-фрезерных центрах на качество поверхности, структуру, химический состав, прочностные и трибологические свойства поверхностного слоя деталей машин».

Результат.

Разработаны научные и технологические основы фрикционных и выглаживающих обработок поверхностного слоя прецизионных деталей машин. На основе результатов выполненных исследований трибологических свойств ряда конструкционных сталей после наноструктурирующего выглаживания разработаны технические решения по обеспечению требуемого уровня свойств деталей нефтегазовой трубопроводной арматуры, насосно-компрессорного и другого технически сложного оборудования.

9. Договор НИР 6/2015 с АО «Арамилский авиаремонтный завод» (г. Екатеринбург, Свердловская область) по теме «Исследование структуры, механических свойств и технического состояния деталей узлов вертолетов после эксплуатации и восстановительного ремонта»

Результат.

Договор носит рамочный характер. За период 2013-2015 гг. была проведена аттестация структуры, механических свойств и технического состояния представительной номенклатуры деталей узлов вертолетов, поступающих на завод после эксплуатации, и после их восстановительного ремонта. Выполнены экспертные исследования для установления причин аварийного выхода из строя деталей узлов.

10. Договор НИР № 237/1073 с ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова» (г. Серов, Свердловской обл.) по теме «Экспериментальное определение оптимальных температур прокатки сталей, выпускаемых на ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова».

Результаты:

Разработаны рекомендации по оптимизации технологии металлургического производства и режимов прокатки исследованных низко- и среднеуглеродистых легированных сталей на стане 850. Выполнен анализ влияния химического состава плавков на качество проката из исследованных 12 марок стали. Проведено производственное опробование и опытное внедрение рекомендаций по температурным и деформационным режимам прокатки с оценкой качественных показателей на серии опытных плавков.

**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

В соответствии с Уставом за Институтом закреплены следующие научные направления

- * механика деформируемых тел, перспективных материалов и технологий, конструкций и сооружений – основоположник направления член-корр. РАН Колмогоров В.Л., создатель теории механики поврежденности материалом при пластической деформации;

- * создание основ алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения систем автоматического управления сложными объектами – основоположник направления академик Н.Н. Семихатов, Герой социалистического труда, главный конструктор бортовых систем управления и навигации современной ракетной техники НПО «Автоматика», до конца жизни работавший в Институте;

- * автоматизированные системы измерения, неразрушающего контроля материалов и диагностики ресурса машин - основоположник направления академик Э.С. Горкунов, известный ученый в области создания методов и средств неразрушающего контроля материалов и изделий машиностроения технической диагностики элементов и конструкций, президент Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике;

- * механика и процессы управления транспортных и тяговых машин - основоположник направления д.т.н. Благонравов А.А., бывший главный конструктор Курганмашзавода, генерал-майор, создатель боевых машин пехоты БМП-2 и БМП-3.

Областью компетенции ИМАШ УрО РАН является проведение междисциплинарных исследований по разработке научных основ диагностики и оценки функциональных способностей и ресурса материалов и конструкций; прогнозирования и управления состоянием изделий различного назначения в течение всего их жизненного цикла от изготовления до решения о выводе из эксплуатации; создание на этой основе новых эффективных технологий обработки конструкционных материалов, технологий проектирования машин и элементов конструкций, а также систем управления сложными техническими объектами. Основой компетенции в обозначенной области является наличие в Институте известных научных школ, созданных академиком РАН Горкуновым Э.С. (неразрушающие физические методы контроля и диагностики металлических материалов), академиком РАН Семихатовым Н.А. (автоматизированные системы управления сложными техническими объектами), членом – корреспондентом РАН Колмогоровым В.Л. (механика и разрушение деформируемых твердых тел), д.т.н. Благонравовым А.А. (конструкции и управление транспортными машинами).

Институт является участником Комплексного плана ФНИ "Перспективные материалы с многоуровневой иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций" (организация-координатор ИФПМ СО РАН, директор чл.-корр. Псахье С.Г.),



утвержденного ФАНО РФ, и организуемого Комплексного плана ФНИ «Фундаментальные проблемы разработки новых производственных технологий формообразования материалов для машиностроения», инициатором которого является ИПСМ РАН, а координатором – академик Р.И. Нигматулин. В рамках координации Руководящим комитетом Комплексного плана перед ИМАШ УрО РАН поставлена задача привлечения других институтов – участников к выполнению НИР и СЧ ОКР по гособоронзаказу, для чего Институтом завершается работа по получению лицензии на разработку и создание вооружений и военной техники.

Институт выполняет работы в интересах национальной безопасности. Это направление прикладных исследований является наиболее весомым в инновационной деятельности Института.

В рамках Гособоронзаказа в интересах Военно-морского флота выполняются исследования влияния напряженно-деформированного состояния сталей, используемых в кораблестроении, на устойчивость их магнитного состояния. Актуальность этих исследований обусловлена необходимостью обеспечения скрытности вождения, особенно при плавании подо льдами Северного ледовитого океана, когда магнитометрия оказывается наиболее эффективным методом обнаружения подводных объектов.

В 2012 – 2015 гг. Институтом был выполнен ряд СЧ ОКР в рамках Гособоронзаказа по разработке технических решений по обеспечению требуемых характеристик крупногабаритных элементов конструкций и заготовок деталей ракетной техники с оценкой их допускаемой поврежденности в процессе изготовления методами пластического формоизменения.

В 2004 – 2014 гг. Институт проводил исследования в рамках Гособоронзаказа по Программе ПСЭ – продления безопасной эксплуатации сверх гарантийных сроков образцов ракетной техники в части диагностики текущего состояния и прогнозирования деградации свойств материалов силовых конструктивных элементов. Успешное выполнение Программы ПСЭ, в том числе и вопросов, решаемых Институтом, позволило выполнить поставленную задачу по поддержанию боеспособности группировки сил ядерного сдерживания на период постановки на вооружение новой ракетной техники. В настоящее время заканчивается подготовительная работа по привлечению Института к выполнению СЧ ОКР в рамках Гособоронзаказа по ПСЭ ракетных комплексов в связи с окончанием гарантийных сроков их хранения и эксплуатации. Институт в качестве исполнителя выбран из-за наличия уникального опыта проведения работ по ПСЭ ракетной техники по текущим характеристикам



конструктивной прочности материалов. Институт получил сертификат соответствия системы менеджмента качества ГОСТ ISO 9001-2011 и ГОСТ РВ 0015-002-2012 при разработке военной продукции. Выполнение плана работ потребует проведения ускоренных имитационных испытаний конструктивных элементов в температурно-силовых условиях, для реализации которых потребуются создание испытательных стендов и отдельных помещений, отвечающим требованиям выполнения секретных работ.

В Институте установлено уникальное оборудование и программное обеспечение для исследования и разработки сверхбольших интегральных схем (СБИС) для бортовых систем управления перспективными ракетно-космическими комплексами. На основе поставленного оборудования совместно с НПО «Автоматика», Институтом математики и механики УрО РАН и Уральским федеральным университетом организован дизайн-центр «Нанокомпьютер», в котором в настоящее время осуществляется разработка и реализация алгоритмов для бесплатформенных инерциальных систем малогабаритных высокоманевренных летательных и ракетно-космических аппаратов, включая беспилотные летательные аппараты.

С 2015 года Институт является учредителем Международного электронного научного журнала “Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures”. Журнал публикует научные статьи с результатами оригинальных фундаментальных и прикладных исследований по механике, материаловедению и неразрушающему контролю. Журнал представлен в РИНЦ, Google Scholar, а в 2018 году, по истечению необходимого срока издания, будет представлен для вхождения в базу Scopus.

Институт ежегодно организует и проводит Всероссийские и Международные конференции “Ресурс и диагностика материалов и конструкций” и “Механика микронеоднородных материалов и разрушение”, школы-конференции для молодых ученых. Сотрудники Института постоянно участвуют в европейских конференциях по неразрушающему контролю и механике материалов.

Взаимодействие с вузовской наукой осуществляется преимущественно с институтами Уральского федерального университета – крупнейшего ВУЗа Урала, входящего в ТОП-10 ВУЗов России. Функционируют 3 филиала кафедры (“Информационные технологии и автоматизация проектирования”, «Обработка металлов давлением», «Теоретическая механика»), лаборатория технической диагностики и магнитомеханики, Научно-образовательный центр «Научно-исследовательский центр информационных и вычислительных наносистем». Отдел транспортных и гусеничных машин обеспечивает работу филиала кафедры «Гусеничные машины» Курганского государственного технического университета. Сотрудники Института проводят занятия по ряду направлений подготовки магистров и бакалавров, используя современное лабораторное оборудование Института. Ежегодно 3-4 выпускника университета поступают на работу и обучение в аспирантуре Института.



Развитие кооперации с УрФУ предполагается в направлении подачи совместных конкурсных заявок на выполнение Целевых федеральных программ, выполнения НИР и ОКР в рамках дизайн-центра «Наноконьютер», работы в рамках согласованной программы оказания услуг центрами коллективного пользования.

Центр коллективного пользования «Пластометрия» обеспечивает доступ к метрологически поверенному современному испытательному, аналитическому и технологическому оборудованию исследователей из академических институтов и ВУЗов. По результатам мониторинга ЦКП отнесен ко второй группе с перспективой перевода в первую группу.

Сотрудники Института являются членами ряда Советов и экспертных комиссий: Совета по присуждению премий Правительства РФ, Координационного совета и его рабочей группы по вопросам транспортного машиностроения при департаменте транспортного и специального машиностроения Минпромторга РФ, Совета при Министерстве промышленности и науки Свердловской области по вопросам развития промышленного комплекса Свердловской области, в том числе развития импортозамещения и научно-производственной кооперации в курируемых отраслях промышленности, Координационного совета по научной, научно-технической и инновационной деятельности при Губернаторе Курганской области, Государственной комиссии по государственным испытаниям государственных первичных эталонов, экспертами, аккредитованные в Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы.

Ученые Института являются членами международных научных организаций:

Горкунов Э.С. академик РАН – действительный член Международной академии неразрушающего контроля, почетный член Болгарского общества по неразрушающему контролю, Президент Российского общества по неразрушающему контролю и диагностике (входит в состав международного общества), почетный член Института механики БАН, член редакционной коллегии Международного электронного журнала “Machines, technologies, materials” (Болгария, София), Почетный член Израильского национального общества по неразрушающему контролю.

Владимиров А.П. д.т.н., в.н.с. - член группы по голографии (Holography Working Group) при международном обществе инженеров-оптиков (SPIE), член организации “Holography Listserver”, а также исполнительный директор Общества экспериментальной механики (Society of Experimental Mechanics) по вопросам, связанным с исследованиями в области применения голографических методов в экспериментальной механике. Указанные организации территориально расположены в США, штат Коннектикут, г. Бэтэл (USA, Connecticut, Bethel).

Смирнов С.В. д.т.н. – член Европейского союза инженеров – механиков ESIS.

Лукин Н.А. к.т.н. – действительный член Международной общественной организации “Академия навигации и управления движением”.

Поволоцкая А.М. к.т.н. – Почетный член Болгарского общества по неразрушающему контролю.



Королева Л.Ф. д.х.н. – член научного общества “American Nano Society”.

ФИО руководителя С.В. Смирнов

Подпись *[Signature]*

Дата 22.05.2017



057733