

решение диссертационного совета от 19 апреля 2017 года № 69

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук» о присуждении Логачёвой Алле Игоревне, гражданину РФ, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Комплексная технология изготовления тонкостенных элементов методом порошковой металлургии для производства деталей из конструкционных и функциональных сплавов на основе титана и никеля для изделий ракетно-космической техники», в виде рукописи, по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» принята к защите 28 декабря 2016 года, протокол № 66, диссертационным советом Д 002.060.02 на базе ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук», 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49, приказ Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель ЛОГАЧЁВА Алла Игоревна родилась в 1963 году.

В 1985 году с отличием окончила Московский институт стали и сплавов (МИСиС) с присвоением квалификации инженер-металлург по специальности «Обработка металлов давлением».

В 2008 году Логачёвой А.И. в Московском авиационном институте (МАИ) была защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Разработка технологии гранульной металлургии комбинированных деталей для двигателей ракетно-космической и авиационной техники» по специальности 05.07.05 - Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

В отделе порошковой и гранульной металлургии института новых металлургических технологий (ИНМТ) ОАО «Композит» ей выполнена докторская диссертация на тему «Комплексная технология изготовления тонкостенных элементов методом порошковой металлургии для производства деталей из конструкционных и функциональных сплавов на основе титана и никеля для изделий ракетно-

космической техники», в виде рукописи, по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

В период подготовки диссертации Логачёва А.И. работала начальником отдела порошковой и гранульной металлургии, заместителем директора Института новых металлургических технологий (ИНМТ) ОАО «Композит», в настоящее время работает начальником отделения Металлических материалов и металлургических технологий (ММиМТ) ОАО «Композит».

Научный консультант Бурханов Геннадий Сергеевич, д.т.н., член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией физикохимии тугоплавких и редких металлов ИМЕТ РАН;

Официальные оппоненты:

КАРПОВ Михаил Иванович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией материаловедения ФГБУН Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН);

ГАРИБОВ Генрих Саркисович, доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского Комплекса ОАО "ВИЛС";

КУЗНЕЦОВ Павел Алексеевич доктор технических наук, начальник НИО «Наноматериалы и нанотехнологии» ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Государственный научный центр Российской Федерации АО «НПО «ЦНИИТМАШ», в своем положительном заключении, составленном председателем НТС, заместителем генерального директора, директором ИТПН ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ» к.т.н. В.В. Береговским, ученым секретарем НТС института ИТПН, к.т.н. И.Ф. Арутюновой и утвержденном заместителем генерального директора по научной работе ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ» профессором, д.т.н. К.Л. Косыревым, указала, что диссертационная работа по актуальности темы, научной новизне, практической значимости, объёму выполненных исследований, полноте освещённости результатов в технической литературе отвечает критериям, предъявляемым к докторским диссертациям «Положения о присуждении ученых степеней».

Соискатель имеет 68 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 52 научные работы, в том числе 23 статьи в изданиях, входящих в перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и 14 патентов РФ. Общий объем работ по теме диссертации составляет 9,84 печатных листов (авторский вклад 62%). Содержание диссертации достаточно полно отражено в опубликованных работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации и личный вклад автора:

1. Логачева А.И. Технологии порошковой металлургии для производства изделий из конструкционных и функциональных сплавов для авиакосмической техники формы // Конструкции из композиционных материалов. 2015, №4, с. 15-25.

2. Логачева А.И. Гранулированный сплав с эффектом памяти формы на основе никелида титана для изделий космической техники // Металлы. 2014, №6, с.89-94.

3. Логачева А.И., Логачев А.В., Кобелева В.Г., Синельников С. И., Разумовский И. М., Александров Н.Г., Оленин И. Г. Применение порошковой (гранульной) металлургии для изготовления втулок замковых соединений из сплава на основе никелида титана с эффектом памяти формы // Конструкции из композиционных материалов. 2015, №1, с. 9-14.

4. Устройство для получения титановых гранул: пат. 2574906 Рос. Федерация: МПК В22F9/ 10 А.И. Логачёва, А.Г. Береснев, И.А. Логачев, Е.П. Степкин, В.В. Дьяков, В.В. Константинов, С.Ю. Кузнецов, заявитель и патентообладатель ОАО «Комполит». – №2014136160/02; заявл. 05.09.2014; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4.

5. Логачева А.И., Логачев И.А., Косырев К.Л. Способ размола и усреднения лигатуры для выплавки титанового сплава // Изобретательство. 2014, т. 24, № 10, с. 49-52

6. Логачева А.И. Аддитивные технологии для изделий ракетно-космической техники: перспективы и проблемы применения// Технология легких сплавов. 2015. № 3, с. 39-45.

7. Исполнительный элемент замкового устройства и способ его изготовления из сплава с эффектом памяти формы: пат. 2555890 Рос. Федерация: МПК F42В 15/36 А.И. Логачёва, С.И. Синельников, А.В. Логачев, И.Г. Оленин, В.Г. Кобелева,

Н.Г. Александров, – №2014107043/11; заявл. 25.02.2014; опубл. 10.07.2015; Бюл. № 31.

8. Лигатура для выплавки жаропрочного титанового сплава и способ ее изготовления: пат. 2470084 Рос. Федерация: МПК С22С 35/00С22С 27/04 А.И. Логачева, С.Б. Вилкин, С.Г. Кравцов, С.В. Гаранин, А.П. Паршин, С.А. Мельников, А.Г. Береснев, заявитель и патентообладатель ООО «Комметпром». – № 2011150859/02; заявл. 14.12.2011; опубл. 20.12.2012, Бюл. № 35.

9. Лигатура для выплавки слитка жаропрочного сплава на основе титана: пат. 2557203 Рос. Федерация: МПК С22С 14/00 А.И. Логачёва, И.А. Логачев, С.А. Мельников, А.Г. Береснев, заявитель и патентообладатель ОАО «Композит». – № 2014113633/02; заявл. 08.04.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

10. Силовой элемент ферменной конструкции, изготовленный методом металлургии гранул и капсула для его изготовления: пат. 154347 Рос. Федерация: МПК В64G1/22 А.И. Логачёва, Н.Г. Александров, А.В. Логачев, Е.П. Степкин, И.Г. Оленин, О.В. Коцюбинская, А.Н. Тимофеев, заявитель и патентообладатель ОАО «Композит». – № 2014119958/11; заявл. 19.05.2014; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23.

11. Силовой элемент ферменной конструкции, изготовленный методом металлургии гранул и капсула для его изготовления: пат. 2557091 Рос. Федерация: МПК В64G1/22 А.И. Логачёва, Н.Г. Александров, А.В. Логачев, Е.П. Степкин, И.Г. Оленин, О.В. Коцюбинская, А.Н. Тимофеев, заявитель и патентообладатель ОАО «Композит». – № 2014119758/11; заявл. 16.05.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

12. Способ обработки заготовок деталей, выполненных из жаропрочных никелевых сплавов, перед их соединением в паяно-сварную конструкцию: пат. 2464142 Рос. Федерация: МПК В23К 31/02 В23К 1/00 А.И. Логачёва, С.И. Синельников, А.Н. Тимофеев, С.Б. Вилкин, С.Г. Кравцов, Д.В. Лобанов, Б.А. Козыков, К.И. Недашковский, М.М. Трофимов, Н.А. Ильичёва, заявитель и патентообладатель ОАО «Композит». – № 2011111305/02; заявл. 25.03.2011; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29.

13. Способ получения титановой дроби и устройство для его осуществления: пат. 2564768 Рос. Федерация: МПК В22F9/10 А.И. Логачёва, А.Г. Береснев, И.А.

Логачев, Е.П. Степкин, заявитель и патентообладатель ОАО «Композит». – № 2014113632/02; заявл. 08.04.2014; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.

14. Способ получения титановых гранул: Рос. Федерация: МПК В22F9/14 А.И. Логачёва, А.Г. Береснев, И.А. Логачев, Е.П. Степкин, заявитель и патентообладатель ОАО «Композит». – № 2014136159; заявл. 05.09.2014; заявка опубл. 27.03.2016, Бюл. № 09.

15. Логачева А.И., Портной В.К., Леонов А.В., Богданов В.И., Попов В.А., Стрелецкий А.Н.. Механическое легирование Ni3Al молибденом и его размещение по подрешеткам интерметаллида // Физика металлов и металловедение. 2014, т. 115, № 1, с. 295-304.

16. Логачева А.И., Портной В.К., Леонов А.В., Стрелецкий А.Н. Влияние углерода на формирование смешанных твердых растворов при механохимическом синтезе смесей Ni–Al–Mo–C // Физика металлов и металловедение. 2014, т. 115, № 3, с. 295-304.

17. Логачева А.И., Константинов В.В., Кульнев А.В., Логачев А.В., Соколов Ю.А. Специализированная технологическая установка нового поколения // Электромеханик. 2014, №3, с. 15-19.

18. Логачева А.И., Константинов В.В., Копаев В.Н., Логачев А.В., Соколов Ю.А. Особенности охлаждения частиц в процессе получения гранул методом PREP // Электромеханик. 2014, № 3, с.11-14.

19. Логачева А.И., Касьянова Д.А., Логачев И.А., Сульман Э.М., Матвеева В.Г. Модификация поверхности гранул титановых сплавов под воздействием ультразвука // Титан. 2013г., № 3, с. 45-48.

20. Логачева А.И., Береснев А.Г., Разумовский В.И., Лозовой А.Ю., Разумовский И.М. Развитие теории легирования для создания нового поколения жаропрочных никелевых сплавов, получаемых методами порошковой металлургии // Технология легких сплавов. 2012, №2, с. 52-61.

21. Логачева А.И., Логачев И.А., Разумовский В.И., Разумовский И.М., Косырев К.Л.. Разработка теоретической процедуры оценки сбалансированности химического состава жаропрочного титанового сплава нового поколения и создание

на этой основе методики оптимизации составов титановых сплавов // Титан. 2012г., № 4, с. 27-31.

Личный вклад автора в перечисленных публикациях состоял в проведении экспериментов, анализе, обработке данных и интерпретации полученных результатов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

заведующего кафедрой обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВО «Сибирского федерального университета», доктора технических наук С.Б. Сидельникова; заведующего кафедрой Стандартизации, сертификации и управлением качеством, заместителя проректора по научной работе ФГБОУ ВО «Тверского государственного технического университета», доктора химических наук, профессора М.Г. Сульмана; главного научного сотрудника отделения технологии сварки и пайки ФГУП «НПО «Техномаш», заслуженного изобретателя РФ, доктора технических наук, доцента В.Г. Бещекова; заведующего кафедрой общей химии, заведующего лабораторией металлохимии и неорганических композиционных материалов «Московского государственного университета имени М.В. Ломаносова», доктора химических наук, профессора С.Ф. Дунаева; профессора кафедры «Материаловедение» ФГБОУ ВО «Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета)», доктора технических наук Ю.А. Кургановой; заведующего кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий ФГАОУ ВО «Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», директора Научно-учебного центра СВС, доктора технических наук, профессора Е.А. Левашова; генерального директора АО КБХА (Конструкторское бюро химавтоматики), д.т.н. В.Д. Горохова, председателя НТС АО КБХА, доктора технических наук В.С. Рачука и главного металлурга АО КБХА В.М. Астрединова; заведующего кафедрой «Литейное производство и упрочняющие технологии» ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», доктора технических наук, профессора Е.Л. Фурмана; директора научно-исследовательского центра технологий контроля качества ракетно-космической техники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский

национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО), доктора технических наук, профессора В.Е. Прохоровича и заведующего кафедрой технологий интроскопии Университета ИТМО, доктора технических наук А.В. Федорова; научного руководителя «Ресурсного центра спецметаллургии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», доктора технических наук, профессора Л.А. Баркова; генерального конструктора «КБхиммаш им. А.М. Исаева», кандидата физико-математических наук И.А. Смирнова; ведущего научного сотрудника лаборатории энергетического стимулирования физико-химических процессов ИСМАН РАН, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Ю.В. Левинского; генерального директора АО УНИИКМ (Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов) В.Ю. Чунаева и инженера-химика 1 категории отдела материаловедения АО УНИИКМ ; первого заместителя генерального конструктора КБ «Салют», доктора технических наук, А.В. Владимирова и начальника отделения перспективных технологий, материалов и покрытий А.Г. Александрова (ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева - КБ «Салют»»).

Все отзывы положительные. В отзывах содержатся критические замечания, например:

– на стр. 23 автореферата приводятся данные по результатам винтовой прокатки заготовок из гранулированного сплава ТН-1, однако не приведены деформационные условия обработки, поэтому сравнить свойства прутков, полученных прессованием и винтовой прокаткой, не представляется возможным, так как степени деформации могут существенно различаться;

– в табл. 8 автореферата не приведены пластические свойства элементов лейнера из сплава ВТ6, что затрудняет оценку технологичности изготовления такого тонкостенного изделия с большим отношением высоты к диаметру;

– в п. 7 выводов по работе указывается, что для оптимизации химического состава порошкового жаропрочного никелевого сплава НГК-6 использовались методы компьютерного конструирования, однако в автореферате нет описания этих методов, условий и правомерности их использования;

– в тексте встречаются технические неточности, так, например, на стр. 44 появляется описание раздела 8.2, хотя отдельное описание предыдущего раздела в автореферате отсутствует.

– в автореферате отсутствует информация о степени достоверности экспериментальных данных, полученных в работе;

– рисунок 4б показывает, что внутри гранул отсутствует пористость, но разрешение и увеличение не позволяют характеризовать структурные составляющие полученных гранул. Представляет большой интерес проследить наследственность структуры сплава от литого электрода к гранулам и далее к спеченной заготовке;

– в тексте автореферата ко всем разработанным никелевым и титановым сплавам применяется термин: «жаростойкие сплавы». Полагаем, что данный термин скорее относится лишь к сплавам на никелевой основе. А все разработанные в работе сплавы относятся не столько к жаростойким, сколько к жаропрочным;

- при описании разработанных технологий изготовления базового тонкостенного бесшовного топливного бака из гранулированного титанового сплава ВТ 23 и бесшовного лайнера методом металлургии гранул из титанового сплав ВТ 6 не нашли отражения вопросы связанные с неразрушающим контролем качества конечных изделий, что было бы весьма полезным для постановки разработанных технологий на производстве;

– из автореферата не понятно, какие предварительные операции подготовки изготовленных порошковых материалов проводились перед процессом ГИП;

– из автореферата не понятно, оценивались ли результаты полученных исследований и разработок, хотя бы одним их предполагаемых потребителей. Были ли проведены рабочие стендовые испытания полученных образцов изделий. Есть ли заключения предполагаемых потребителей о готовности использовать предлагаемые разработки;

На все критические замечания даны подробные и исчерпывающие ответы (см. стенограмму).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетенцией, наличием публикаций и достижений в области порошковой метал-

лургии и способностью определить научную и практическую ценность представленной в диссертационный совет диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана концепция нового подхода на основе теории оболочек изготовления тонкостенных элементов из сферических порошков сплавов на основе титана и никеля, получаемых центробежным распылением с фракционным составом менее 100 мкм. Предложенный подход позволяет не только создавать изотропные герметичные изделия с высоким уровнем механических свойств, которые невозможно получить традиционными способами, но и изготавливать изделия любой сложности по геометрической форме без сварных соединений. Разработана также научная концепция универсального легирования порошковых жаропрочных сплавов элементами, которые повышают когезивную прочность границ зерен (ГЗ) в мелкозернистой структуре компакта, а также энергию когезии матрицы сплава не зависимо от металла – основы сплава. Разработаны принципы совершенствования технологии производства порошков металлических и интерметаллидных сплавов методом вращающегося электрода с плазменным нагревом (PREP – гранульная металлургия). К ним относятся: повышение качества слитков-электродов, производимых методами традиционной металлургии; возможность повышения частоты вращения заготовки свыше 25000 об./мин. Разработана и изготовлена установка нового поколения «УЦРТ- 9», позволяющая получать гранулы размером менее 100 мкм (75% выход годного от исходного электрода для никелевых сплавов и 65% - для титановых и интерметаллидных сплавов) за счет введения механизма управляемого охлаждения гранул в полете.

- предложены критерии оценки эффективности влияния конкретного легирующего элемента и примеси на когезивную прочность ГЗ с помощью параметра η -фактора зернограницного упрочнения, при этом силы связи атомов в матрице определяются по значению парциальной молярной энергии когезии, также предложен критерий разрушения Хубера-Мизеса для оценки работоспособности гранульного титанового сплава при сложнонапряженном циклическом нагружении как для баллонов, так и для лейнеров.

- доказана перспективность использования предложенных научных концепций и критериев путем их использования для разработки перспективных жаропрочных сплавов на основе титана (с рабочей температурой 800°C) и никеля (с рабочей температурой 900°C), а также изготовления тонкостенных герметичных элементов различной конфигурации без сварных соединений, новизна которых защищена патентами РФ. Доказано наличие закономерности влияния гранулометрического состава на физико-химические свойства порошков (гранул) сплавов на основе титана и никеля. При уменьшении размера гранул происходит измельчение дендритной структуры при сохранении ее стабильности без изменения химического состава и свойств гранул.

- введены применительно к тонкостенным изделиям, изготовленным методом порошковой металлургии из порошков, получаемых центробежным распылением электродов, и формообразующей капсульной оснастке при проведении процессов горячего изостатического прессования расчеты, как к оболочкам постоянной толщины из изотропного материала, что хорошо согласуются с трехмерной теорией упругости при любых внешних воздействиях, включая сосредоточенные силы. Введены также представления о решающем влиянии параметров когезивной прочности сплавов на сопротивление ползучести при повышенных температурах и долговечность.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказана эффективность использования развитых научных положений теорий оболочек, плавления, центробежного распыления, тепловых процессов для разработки новых сплавов и технологий, в частности, для изготовления установки нового поколения «УЦРТ- 9», позволяющая получать гранулы размером менее 100 мкм (75% выход годного от исходного электрода для никелевых сплавов и 65% - для титановых и интерметаллидных сплавов) за счет введения механизма управляемого охлаждения гранул в полете; увеличения диаметра камеры распыления до 2,5м; повышения мощности плазмотрона до 200кВт; увеличения диапазона скорости перемещения электрода; оснащения установки современной компьютерной системой для автоматизации процесса распыления.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих базовых методов исследования, в т.ч. методы расчета электронной структуры сплавов из первых принципов, компьютерный метод конструирования сплавов, комплекс экспериментальных методов исследования фазового состава, микроструктуры и распределения в ней легирующих элементов и примесей (сегрегация), кратковременные и длительные испытания механических свойств при комнатной и повышенных температурах, специальные технологические испытания; классические подходы в области теории пластичности, например, для изготовления капсул для тонкостенного титанового лейнера, обеспечивающая заданную точность, которая определена в конструкторской документации ($\pm 0,6$ мм), методом ротационной раскатки листовых заготовок.

Изложены на основе основополагающих элементов теории сплавов, способы расчета когезивной прочности объема и границ зерен, способы оценки вклада отдельных легирующих элементов в когезивную прочность (развитие представлений о парциальной молярной энергии когезии и фактор зернограничного упрочнения), а также методики определения герметичности тонкостенных элементов различной конфигурации, оценки работоспособности образцов из гранульных титановых и интерметаллидных сплавов в зависимости от условий эксплуатации (несущие нагрузки, оценка уноса, условия разрушения и другие).

Раскрыты противоречия между моделью Райса-Вонга-Томсона, которая описывает влияние сегрегации легирующих элементов и примесей на границах зерен и внешней поверхности, и моделью пластифицирования сплава за счет активации зернограничного проскальзывания. Сформулирована проблема создания модели повышения пластичности мелкозернистых поликристаллических сплавов, имеющих склонность к охрупчиванию в результате образования зернограничных сегрегаций.

Изучены особенности технологии производства порошков металлических и интерметаллидных сплавов методом вращающегося электрода с плазменным нагревом (PREP – гранульная металлургия) в сравнении с альтернативными методами получения порошков сплавов. Установлены противоречия между технологическими возможностями существующей технологии PREP и современными требованиями к качеству порошков сплавов (морфология, размеры, образование конгломератов и др.).

Исследована взаимосвязь между зеренной структурой порошковых сплавов на основе никеля и титана в компактированном состоянии и механическими свойствами при кратковременных и длительных испытаниях.

Проведена модернизация существующих методов компьютерного конструирования литейных жаропрочных сплавов применительно к сплавам, получаемых с помощью технологий порошковой металлургии. Модернизированный компьютерный подход использован для разработки новых конструкционных сплавов на основе титана и никеля, новизна химических составов которых и технологий их производства защищены патентами РФ. Используя гипотезу энергии формоизменения, для точного определения напряжений в тонкостенной сложной пространственной конфигурации трубных элементов модернизирован расчетный анализ возможных условий нагружения испытываемой конструкции при сложном напряженном состоянии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- оптимизированы режимы всего технологического цикла от получения гранул жаропрочных никелевых и титановых сплавов центробежным распылением до последующей их магнитной и электрической сепарации, изготовления герметизированных капсул с порошком для получения деталей и консолидации порошков газостатическим прессованием. Разработанный технологический цикл освоен в промышленном масштабе и обеспечивает продукцией потребности производства РКТ.

- разработаны технологические процессы изготовления тонкостенных герметичных трубчатых элементов 3Д конфигурации сложной формы из гранул титановых сплавов для систем разгонных блоков, проведены их испытания на несущую нагрузку. Разработаны и внедрены технологический процесс изготовления трубных элементов №932.0102.068.00-2012 и технологические условия ТУ 1791-539-56897835 «Трубные элементы из титановых сплавов ВТ14 и ВТ23, изготовленные методом металлургии гранул».

- разработана новая комплексная технология производства функционального сплава с эффектом памяти формы системы Ti-Ni, которая сочетает технологическую схему гранульной металлургии (изготовление слитков-электродов, производство и обработка гранул, компактирование гранул методом горячего изостатического прес-

сования) и винтовую прокатку. Изготовленные таким образом втулки замкового соединения характеризуются высокими показателями функциональных свойств.

- разработаны технологические процессы изготовления сплава на основе соединения Ni_3Al (ИНГК-5), работоспособного при температуре $1250^{\circ}C$, для камер сгорания жидкостных ракетных двигателей. По результатам работы выпущено ТУ «Заготовки опытных деталей из сплава на основе соединения Ni_3Al » № ТУ 1798 - 438 - 56897835 – 2008.

- разработана комплексная технология ПМ, сочетающая механодиспергирование и механосинтез интерметаллидных сплавов на основе соединения Ni_3Al , для получения порошков с нанокристаллическими элементами субструктуры, разработаны технические условия ТУ 1479-608-56897835-2014 «Алюминиды высокотемпературные системы Ni_3Al-Cr ».

- разработаны инновационные технологии изготовления базового тонкостенного бесшовного топливного бака из гранулированного титанового сплава ВТ 23 и бесшовного лейнера методом металлургии гранул из титанового сплав ВТ 6 для перспективных изделий ракетно-космической техники нового поколения с повышенными тактико-техническими характеристиками, выпущены технологические процессы: № 932-0102-13ТП-2009 «Технологический процесс изготовления базового тонкостенного бесшовного топливного бака из гранулированного титанового сплава ВТ23» и № 932.01100.15900 «Технологический процесс изготовления образцов бесшовного гранульного лейнера».

Определены закономерности процесса центробежного распыления вращающегося электрода из титановых и никелевых сплавов при получении сферических порошков дисперсностью менее 100 мкм. К ним относятся: повышение качества слитков-электродов, производимых методами традиционной металлургии; возможность повышения частоты вращения заготовки до 35000 об./мин., что позволяет получать мелкие гранулы менее 100 мкм до 95% от всей массы порошков как для никелевых, так и титановых сплавов, определены вольт-амперные характеристики плазматрона и газовой системы охлаждения для оптимизации режимов распыления сложнoleгированных сплавов на основе никеля и титана, также перспективы использования порошков металлических и интерметаллидных сплавов, полученных

методом PREP (гранульная металлургия) на модернизированном оборудовании, для производства тонкостенных деталей ракетно-космической техники.

Создана:

- установка нового поколения «УЦРТ- 9», позволяющая получать мелкие гранулы менее 100 мкм (75% выход годного от исходного электрода для никелевых сплавов и 65% - для титановых и интерметаллидных сплавов) за счет введения механизма управляемого охлаждения гранул в полете; увеличения диаметра камеры распыления; повышения мощности плазмотрона; увеличения диапазона скорости перемещения электрода; оснащения установки современной компьютерной системой для автоматизации процесса распыления;

- методология универсального легирования порошковых конструкционных и функциональных сплавов на основе никеля, титана, никель-титана и Ni_3Al , основанная на легировании сплавов переходными металлами, которые одновременно повышают энергию когезии матрицы и укрепляют границы зерен, увеличивая их когезивную прочность.

Представлены предложения для совершенствования существующих моделей, связывающих зернограничную сегрегацию примесей и легирующих элементов, с пластичностью конструкционных сплавов, склонных к охрупчиванию в определенных условиях. Даны рекомендации для уточнения физико-механической природы критерия «тонкостенности» деталей, полученных методом порошковой металлургии, что обеспечивает производство гранул сплава заданного размера и компактирование тонкостенных изделий из полученного порошка методом горячего изостатического прессования.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном и поверенном оборудовании, с использованием современных измерительных приборов, лицензированных программ, показана воспроизводимость результатов исследования на контрольных выборках в условиях опытно-промышленного производства; экспериментально верифицированы результаты расчетов условий нагружения испытываемых тонкостенных конструкций;

- теория построена на известных, проверяемых данных с применением классических подходов в области теорий оболочек, плавления, центробежного распыления, тепловых процессов, упругого и пластического деформирования материалов, сопротивления материалов, численных методах решения дифференциальных уравнений;

- идея базируется на анализе и обобщении практического опыта расчетов тонкостенных оболочек из изотропного материала в зависимости от характера распределения внешних нагрузок, опорных закреплений, применяется или безмоментная или моментная теория оболочек. При этом предполагается равномерное распределение напряжений по продольным и поперечным сечениям оболочек, что согласуется с условиями процесса горячего изостатического прессования.

Использовано сравнение авторских данных по качеству порошков (форма, фракционный и химический состав, газовая пористость и др.), изготовленных методом центробежного распыления, с данными по порошкам, получаемым методом газового распыления.

Установлено, что результаты испытаний механических свойств сплавов на основе титана и никеля, изготовленных методом гранульной (порошковой) металлургии из порошков с фракционным составом менее 100 мкм, показывают их увеличение от 15%, что совпадает с результатами, полученными другими российскими и зарубежными авторами. Сформулированные научные положения отвечают современным принципам создания новых порошковых и композиционных материалов и технологий их получения, а также согласуются с результатами известных работ по рассматриваемой проблеме.

Использованы комплексы современных теоретических и экспериментальных методов исследований и испытаний механических и функциональных свойств, а также эксплуатационных характеристик. Для исследования структуры и локального химического состава порошков и компактных заготовок сплавов использованы методы металлографии с автоматизированным анализом изображений, рентгеновского фазового анализа и микроанализа, сканирующей электронной микроскопии. Проведены кратковременные и длительные испытания механических и функциональных свойств образцов и имитаторов готовых изделий.

Личный вклад автора состоит:

- в разработке принципов совершенствования технологии производства порошков металлических и интерметаллидных сплавов методом PREP (гранульная металлургия) для создания нового поколения оборудования (установка «УЦРТ-9») и получения металлических порошков (гранул) (фракционного состава менее 100 мкм) сплавов на основе титана, никеля и интерметаллидов с содержанием кислорода на уровне исходной заготовки, возможностью вариативного регулирования частоты вращения заготовки (до 35000 об./мин.), с современной компьютерной системой для автоматизации процесса распыления.

- разработке концепции универсального легирования порошковых ЖС элементами, которые обогащают ГЗ в мелкозернистой структуре компакта и повышают когезивную прочность ГЗ в сплавах на основе никеля, титана и других. Автором разработан подход для оценки показателей когезивной прочности ГЗ в сплавах.

- разработке систем легирования и технологий производства новых порошковых ЖС на титановой (СТ6У) и интерметаллидной основах, анализе результатов комплексного исследования микроструктуры и испытаний механических свойств новых сплавов.

- автором предложена комплексная технология (гранульная металлургия, винтовая прокатка) изготовления втулок замковых соединений из сплава ТН-1 с эффектом памяти формы для безударного разделения отсеков и спецоборудования ракетно-космической техники. После комплексной обработки детали имеют высокие показатели механических и функциональных свойств.

- разработана комплексная технология изготовления трубчатых тонкостенных элементов различной конфигурации методом порошковой металлургии для производства деталей из титановых и функциональных сплавов для изделий ракетно-космической техники с высоким уровнем эксплуатационных характеристик.

- автором предложены технологии изготовления базового тонкостенного бесшовного топливного бака из гранулированного титанового сплава ВТ 23 и бесшовного лайнера методом металлургии гранул из титанового сплав ВТ 6

- обработке и интерпретации экспериментальных данных и основных научных результатов;

- подготовке основных публикаций по выполненной работе, включая 23 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Содержание и проблематика диссертации соответствуют паспорту специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы (области исследований 2, 5, 6).

Диссертация Логачёвой Аллы Игоревны является научно-квалификационной работой, в которой на основании исследования закономерностей формирования структуры и свойств при получении и компактировании сферических порошков из модернизированных сплавов на основе титана и никеля разработаны технологические процессы изготовления тонкостенных герметичных и высокопрочных конструкций ракетно-космической техники, что вносит значительный вклад в развитие страны.

На заседании 19 апреля 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Логачёвой Алле Игоревне ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 16, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Зам. председателя
диссертационного совета, д.т.н.

В.С. Юсупов

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 002.060.02, д.т.н.

И.Е.Калашников

19 апреля 2017 года

Подпись В.С.Юсупова и И.Е. Калашникова заверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н.



О.Н. Фомина