

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 217.035.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЧЕРНОЙ
МЕТАЛЛУРГИИ ИМ. И.П. БАРДИНА» МИНИСТЕРСТВА
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело №____
решение диссертационного совета от 12 октября 2016 г № 7.2

О присуждении **Прохорову Дмитрию Владимировичу** ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Структура и механические свойства жаропрочных композиционных материалов на основе системы Nb–Al» по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» **принята к защите 1 июля 2016 года**, протокол заседания № 7.1, диссертационным советом Д 217.035.01 на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, по адресу: 105005, г. Москва, ул. Радио д. 23/9, стр. 2, в соответствии с приказом № 105/нк от 11.04.2012 г. и частичным изменением № 194/нк от 22.04.2013 г.

Соискатель, Прохоров Дмитрий Владимирович, 1987 года рождения, в 2010 году окончил Удмуртский государственный университет.

Работает младшим научным сотрудником в лаборатории материаловедения, в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики твердого тела Российской академии наук (далее – ИФТТ РАН), где и окончил очную аспирантуру в 2013 году.

Диссертация выполнена в лаборатории материаловедения в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики твердого тела Российской академии наук.

Научный руководитель – Член-корреспондент РАН, доктор технических

наук, профессор **Карпов Михаил Иванович** работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики твердого тела Российской академии наук заведующим лабораторией материаловедения.

Официальные оппоненты:

Поварова Кира Борисовна – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Лаборатории физикохимии и механики металлических материалов (№19) Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, г. Москва;

Логачёва Алла Игоревна – к.т.н., заместитель директора Институт новых металлургических технологий ОАО «Композит», г. Королев,

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук (ИСМАН), г. Черноголовка, в своем положительном заключении, подписанном Саниным В.Н. д.т.н., И.О. заместителя директора Института по научной работе; Грачевым В.В. к.ф.-м.н., председателем семинара «Материалообразующие процессы горения и взрыва» ИСМАН, заместителем директора Института по научной работе; Камыниной О.К. к.ф.-м.н., ученым секретарем ИСМАН и утвержденном Алымовым М.И. Член-корреспондентом РАН, д.т.н., профессором, директором ИСМАН **указала, что** совокупность полученных результатов и выводов имеют существенное значение для российской науки и практики в области создания новых жаропрочных материалов.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы по теме диссертации, в том числе в 5 рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 2-х патентах РФ.

Научные публикации посвящены изучению особенностей структурно-фазовых превращений и высокотемпературных механических свойств сплавов Nb–Al при использовании различных технологических схем их приготовления; выявлению закономерностей формирования структуры и механических свойств жаропрочных композиционных материалов на основе системы Nb–Al;

разработке лабораторных технологий получения жаропрочных сплавов на основе системы Nb-Al методом порошковой металлургии с использованием методов механического легирования и применения порошков интерметаллидов и многослойных композиционных материалов, представляющих из себя чередующиеся слои твердого раствора на основе ниобия и слоев комплекса интерметаллидов ниобия с алюминием.

Результаты исследований, представленные в опубликованных работах, представляют интерес для разработки новых жаропрочных сплавов на интерметаллидной основе, т.к. позволяют установить связь между высокотемпературными механическими свойствами и структурно-фазовым составом сплавов на основе системы Nb-Al.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Д.В. Прохоров, М.И. Карпов, В.П. Коржов и др. Структура и свойства сплавов системы Nb-Al, полученных методом порошковой металлургии // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – N 12. – С. 5–8.
2. М.И. Карпов, В.П. Коржов, Д.В. Прохоров Получение и особенности разработки жаропрочных композитов с высокой удельной прочностью // Физика и механика материалов – 2015. – Т. 25. – N 1. – С. 37–41.
3. В.П. Коржов, Д.В. Прохоров, М.И. Карпов, и др. Влияние термообработки под давлением на структуру слоистых композитов Ni/Al // Перспективные материалы. – 2011. – Т. 2. – Специальный выпуск N 13. – С. 704 – 711.

На диссертацию и автореферат поступило **8 положительных отзывов**, из них 4 содержат замечания. Во всех отзывах отмечено, что диссертационная работа **посвящена актуальной теме** разработки новых жаропрочных сплавов на основе системы Nb-Al.

Научная новизна работы состоит в получении новых научных результатов по **влиянию технологии** на состав, структуру и свойства Nb-Al сплавов. В работе исследованы **технология** получения, **закономерности** формирования структуры и свойства ниобиевых композитов, упрочненных Nb₃Al (ПНИПУ). Решались **научные и технические задачи**, направленные на

выявление закономерностей структурообразования, фазовых превращений и формирования высокотемпературных механических свойств полученных сплавов на основе системы Nb-Al (МИСиС д.ф.-м.н. Калошкин С.Д.). Новизна работы заключается в **разработке** лабораторных технологий получения жаропрочных сплавов на основе Nb-Al различными методами. Полученные модельные материалы необходимы для совершенствования промышленных высокотемпературных жаропрочных сплавов нового поколения. **Установлено**, что высокая прочность слоистых композиционных материалов связана с упрочняющей ролью слоев интерметаллида, а пластичность обусловлена наличием слоев твердого раствора ниобия, являющимися барьерами для распространяющихся трещин (ТГАСУ; ТГУ д.ф.-м.н., профессор Викарчук А.А.; «ЦНИИ КМ «Прометей»). Отмечен новый твердофазный способ получения композиционного материала в процессе диффузионной сварки под давлением многослойных пакетов Nb/Al. Новый метод носит характер существенной научной новизны, а именно в направленности и многослойности структуры, что необходимо для жаропрочных материалов, которая закладывается искусственным путем на начальном этапе сборки пакетов («ЦНИИ КМ «Прометей»).

Практическая значимость: новизна работы подтверждена полученными патентами (ТГУ д.ф.-м.н., профессор Викарчук А.А., «ЦНИИ КМ «Прометей»); диффузионная сварка композитов, состоящих из листов ниобия и сплава алюминия с кремнием, позволили получить образцы с высокими значениями кратковременной прочности, достигающими 1560 МПа при комнатной температуре и 680 МПа при 1300°C (МИСиС д.ф.-м.н. Лилеев А.С.); в возможности применения результатов исследований при создании технологии изготовления конкретных деталей из Nb-Al сплавов. (ПНИПУ); лабораторные технологии приготовления Nb-Al сплавов могут служить основой для разработки новых жаропрочных материалов на их основе (ИПТМ РАН); полученные результаты обладают научной новизной и имеют практическую значимость, являются весомым вкладом в теорию и практику создания новых

жаропрочных материалов с высокой удельной прочностью (ТГУ д.ф.-м.н., профессор Викарчук А.А.).

Замечания: в таблице 1 значения показателя степени изменяются немонотонно с увеличением содержания прекурсора Nb_3Al , есть ли в этом какая-либо физическая причина или разброс значений показателя степени находится в рамках общего доверительного интервала? (ТГУ д.ф.-м.н., профессор Мерсон Д.Л.); На рисунке 2 не идентифицированы тёмные включения. В связи с этим непонятна их природа это оксидные гранулы Al_2O_3 или микропоры? как решается проблема фундаментальной диффузионной пористости? Насколько стабильными являются полученные структуры при рабочей температуре $1300^\circ C$, если они спекались при $1100^\circ C$? (МИСиС д.ф.-м.н. Калошкин С.Д.); Автор допускает при написании обороты не соответствующие стилю научной работы, проведенный металлографический анализ не сопровождается количественными характеристиками структур. На странице 16. приводится перечень диффузионных слоев, в том числе двухфазные. Не ясно, какой температуре соответствует такая странная картина. Тоже относится и к рисунку 5, где указана температура $1100^\circ C$. Это высокотемпературная микроскопия? Выводы представляют собой фрагменты текста автореферата (МИСиС д.ф.-м.н. Лилеев А.С.); Какими были режимы обработок на всех стадиях техпроцесса? Какая была точность эксперимента? Имеются ли математические модели, диаграммы, другие способы описания исследованных процессов? Было ли проведено сопоставление характеристик работоспособности не только с промышленными, но и с лучшими мировыми аналогами? (ПНИПУ)

Заключение по отзывам: 1. Выполнен большой объем технологической и исследовательской работы по получению и изучению свойств материалов на основе системы Nb-Al, изготовленных по нескольким технологиям (ТГУ д.ф.-м.н. профессор Мерсон Д.Л., МИСиС д.ф.-м.н. Лилеев А.С.). 2. Достоверность экспериментальных результатов обеспечена набором современных аналитических методов. (МИСиС д.ф.-м.н. Калошкин С.Д., ИПТМ РАН). 3. Работа выполнена на хорошем научном уровне (ТГУ д.ф.-м.н., профессор

Мерсон Д.Л), автореферат хорошо оформлен (ТГАСУ, ИПТМ РАН). 4. Прошла достаточную апробацию, результаты диссертации опубликованы и доложены на научных российских и международных конференциях (ТГАСУ, ПНИПУ, ИПТМ РАН, «ЦНИИ КМ «Прометей», ТГУ д.ф.-м.н., профессор Викарчук А.А.). 5 Во всех отзывах отмечается, что диссертационная работа отвечает всем требованиям ВАК РФ и паспорту специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

Поварова Кира Борисовна – ведущий специалист в области фазовых и структурных превращений металлов и интерметаллидных жаропрочных сплавов.

Логачёва Алла Игоревна – ведущий специалист в области порошковой и гранульной металлургии жаропрочных и жаростойких сплавов.

ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук (ИСМАН), г. Черноголовка. Направлениями работы института являются: общая и структурная макрокинетика процессов горения и взрыва; самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС); синтез и модификация материалов в условиях высоких динамических давлений; управление процессами горения и взрыва, химическая энергетика.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

установлены закономерности структурообразования ниобий-алюминиевых сплавов в зависимости от основных параметров технологических процессов при их получении;

разработаны и обоснованы наиболее оптимальные лабораторные технологии получения жаропрочных сплавов на основе системы ниобий-алюминий различными методами их приготовления и создания многослойных материалов;

определено влияние содержания алюминия и интерметаллидов алюминия на формирование микроструктуры и высокотемпературные механические свойства жаропрочных сплавов на основе системы ниобий-алюминий;

доказана перспективность разработки технологий получения жаропрочных ниобий-алюминиевых сплавов на основе методов порошковой металлургии и диффузионной сварки под давлением и/или горячей прокатки с последующей термообработкой многослойных пакетов Nb/Al;

экспериментально установлено, что смешивание порошка ниобия с прекурсорами интерметаллических соединений и технология создания многослойных структур позволяет более точно регулировать структурно-фазовое состояние получаемых сплавов;

экспериментально показана возможность насыщения ниобия алюминием и протекания твердофазной реакции образования интерметаллида Nb_3Al для сплавов, полученных в результате механического легирования в атмосфере Ar;

определено, что увеличение содержания Al приводит к увеличению количества фаз-упрочнителей в матрице сплава, как частиц Al_2O_3 в случае размола порошков в воздушной атмосфере, так и фазы Nb_3Al в случае размола в атмосфере аргона, вследствие чего повышаются механические свойства сплавов;

показано, что использование технологии получения слоистых структур позволяет получать композиционный материал, состоящий из слоев твердого раствора на основе ниобия и слоев интерметаллидов Nb_3Al+Nb_2Al , основное упрочнение которого осуществляется за счет интерметаллидных фаз Nb_2Al и Nb_3Al . Полученные таким образом образцы имеют высокие значения кратковременной прочности, достигающие ≈ 1560 МПа при комнатной температуре и 680 МПа при 1300°C.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

расширены и углублены представления о закономерностях структурообразования при использовании различных технологий приготовления сплавов на основе системы Nb–Al, а также созданы научные основы разработки

новых жаропрочных материалов с высокими физико-механическими свойствами, рабочие температуры которых будут превышать 1200°C;

изложены закономерности формирования структуры и механических свойств жаропрочных композиционных материалов на основе системы Nb-Al, полученных с помощью классического метода порошковой металлургии и диффузионной сварки под давлением многослойных пакетов Nb/Al, объединенной с горячей прокаткой. Определены условия для дальнейшего развития использованных в работе методов;

результативно использованы методы сканирующей электронной микроскопии, рентгено-структурного анализа для исследования структуры сплавов, методы оценки высокотемпературной прочности и скорости деформации при ползучести.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается: расширением базы данных о способах изготовления порошковых сплавов и композитов на основе системы Nb₃Al+Nb и получением модельных композиций, показавших высокие прочностные характеристики при 1300°C.

Практическое значение имеет установленное в работе положительное влияние спекания под давлением на плотность исследованных композиций. Это показывает, что при переходе от лабораторных миниатюрных образцов к изготовлению более крупных изделий значительное уменьшение пористости может быть достигнуто в процессе горячего изостатического прессования.

Предложены и реализованы на практике лабораторные технологии получения жаропрочных сплавов на основе системы Nb-Al методом порошковой металлургии с использованием методов механического легирования и применения порошков интерметаллидов, полученных плавкой во взвешенном состоянии с последующим размолотом в планетарной шаровой мельнице. Разработана лабораторная технология и получены образцы многослойных композиционных материалов, представляющих собой чередующиеся слои твердого раствора на основе ниобия со слоями

интерметаллидов ниобия с алюминием, полученных методами диффузионной сварки под давлением и/или горячей прокатки и последующей термообработки.

Исследованные технологии перспективны для разработки новых материалов, которые могут быть применены для изготовления деталей конструкций, работающих в температурном диапазоне 1100–1300°C, а возможно и выше.

Оценка достоверности результатов экспериментальных исследований обеспечивается использованием современного оборудования и *подтверждена* значительным количеством экспериментальных результатов, полученных с *использованием* современных методов исследования структуры, фазового состава и свойств сплавов, а также с *результатами* статистической обработки результатов экспериментов и *сопоставлением* полученных в диссертации результатов с результатами других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач диссертационной работы, разработке методик экспериментов, самостоятельном выполнении всех запланированных экспериментов, обработке, анализе и интерпретации полученных экспериментальных данных.

Соответствие работы паспорту специальности. По своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и полученным результатам соответствует пунктам 1 «изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм), в том числе диаграммами состояния с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов» и 9 «разработка новых принципов создания сплавов, обладающих заданным комплексом свойств, в том числе для работы в экстремальных условиях» паспорта специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» (технические науки), а также соответствует профилю диссертационного совета Д 217.035.01.

Решена научная задача современного материаловедения – создание научных основ разработки новых материалов для работы в экстремальных условиях одновременного воздействия повышенных температур и нагрузок.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу и соответствует критериям п. 9 «Положению о порядке присуждения ученых степеней», Постановления Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г.

На заседании 12.10.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Прохорову Д.В. ученую степень кандидата технических наук (протокол 7.2).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и 9 докторов наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 17, «против» - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель
Диссертационного совета
Д 217.035.01
д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь
Диссертационного совета
Д 217.035.01
д.т.н., с.н.с.



А.М. Глезер


Н.М. Александрова

Дата оформления Заключения: 14 октября 2016 г.