

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

диссертационного совета Д 212.141.17 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» Министерства образования и науки Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23 марта 2016 г. № 6

О присуждении Рудштейну Роману Ильичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Физические свойства многослойных композиционных материалов энергодвигательных установок космической техники и энергетики в условиях воздействия высоких термических и механических нагрузок» по специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния принята к защите 20 января 2016 года, протокол №1, диссертационным советом Д 212.141.17 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» Министерства образования и науки Российской Федерации, 105005, г. Москва, ул. 2-ая Бауманская, 5, приказ №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Рудштейн Роман Ильич 1989 года рождения.

В 2011 году соискатель с отличием окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)». С 2011 по 2015 годы соискатель обучался в аспирантуре по очной форме обучения по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» Правительства Российской Федерации. В настоящее время работает в государственном научном центре РФ – федеральном государственном унитарном предприятии «Исследовательский Центр им. М.В. Келдыша» Роскосмоса в должности научного сотрудника Центра по применению нанотехнологий в космической энергетике и электроснабжении космических систем.

Диссертация выполнена в Департаменте электронной инженерии федерального государственного автономного образовательного учреждения высше-

го профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» Правительства Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ Бондаренко Геннадий Германович, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», профессор Департамента электронной инженерии.

Официальные оппоненты:

Дидык Александр Юрьевич – доктор физико-математических наук, Объединенный институт ядерных исследований, ведущий научный сотрудник Центра прикладной физики Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова;

Хасаншин Рашид Хусаинович – кандидат физико-математических наук, доцент, открытое акционерное общество "Композит", начальник лаборатории математического моделирования Испытательного центра дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», Московская обл., г. Долгопрудный, в своем положительном заключении, подписанном Шешиним Евгением Павловичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры вакуумной электроники, Бугаевым Александром Степановичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, профессором, заведующим кафедрой вакуумной электроники, и утвержденном Аушевым Тагиром Абдул-Хамидовичем, доктором физико-математических наук, проректором по научной работе и стратегическому развитию, указала, что диссертационная работа Рудштейна Романа Ильича является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложен универсальный комплексный подход к прогнозированию теплофизических и термомеханических свойств высокотемпературных композиционных материалов со слоистой структурой, обладающих заданным набором характеристик и предназначенных для применения в условиях интенсивных тепловых воздействий. Результаты диссертационного исследования целесообразно использовать на отраслевых предприятиях и в научно-исследовательских институтах, деятельность которых связана с разработкой перспективных материалов, деталей и узлов промышленного и космического назначения, предназначенных для эксплуатации в условиях интенсивных тепловых воздействий (таких как ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», ОАО «Композит», ГНЦ ФГУП «ВИАМ», АО «ВНИИНМ», ФГУП «ВНИИА» и т.п.), а также в образовательных целях в учреждениях высшего профессио-

нального образования с научно-техническим профилем подготовки кадров (МФТИ, МИФИ, МГТУ им. Баумана и др.).

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 13 работ общим объемом 4,1 печатных листов, из которых на долю соискателя приходится 1,11 печатных листов. В рецензируемых научных изданиях из Перечня ведущих периодических изданий ВАК РФ по теме диссертации опубликованы 4 работы, в сборниках трудов конференций, включая Международные и Всероссийские, – 9 работ. Ценность научных работ обусловлена тем, что результаты, полученные при их выполнении, вносят существенный вклад в понимание физических процессов, протекающих в структуре многофазных композиционных материалов конструкционного и функционального назначения в условиях интенсивных тепловых и механических воздействий.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Функциональные материалы для трубопроводов ядерных энергодвигательных установок / Р.И. Рудштейн [и др.] // Перспективные материалы. 2013. № 9. С. 14-18.

2. Получение наноструктурированного слоистого композита оксид алюминия — хром для применения в термонапряженных узлах ракетно-космической техники установок / Р.И. Рудштейн [и др.] // Перспективные материалы. 2014. № 6. С. 12-18.

3. Керамический композит на основе нитрида бора с повышенной стойкостью к ионной бомбардировке для применения в составе холловского двигателя / Р.И. Рудштейн [и др.] // Перспективные материалы. 2014. № 12. С. 16-24.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Никулина В.Я.**, доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией физики плотной плазмы Физического института им. П.Н. Лебедева РАН; **Михайловой Г.Н.**, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН; **Чернова И.И.**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры физических проблем материаловедения Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»; **Люблинского И.Е.**, кандидата технических наук, начальника комплексного научно-исследовательского и опытно-конструкторского отдела №12 АО «Красная Звезда» Государственной Корпорации «Росатом», г. Москва; **Волкова-Богородского Д.Б.**, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Института прикладной механики РАН; **Боровицкой И.В.**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН.

Все отзывы положительные. В качестве замечаний отмечено, что: под термостойкостью в работе подразумевается максимальный температурный перепад, который способен выдержать материал, не разрушаясь, в то время как большее распространение получил другой способ оценки термостойкости – на основании числа циклов нагрева и охлаждения до полного или частичного разрушения материала (Люблинский И.Е.); в описании третьей и пятой глав диссертации не приводятся сведения о том, как посредством предложенного технологического метода возможно получение объемных изделий из слоистого композита (Волков-Богородский Д.Б.); из текста автореферата остается неясным, была ли учтена в разработанной физико-математической модели пластическая составляющая деформаций металлических слоев (Боровицкая И.В.); в автореферате не приведены сведения о способе и результатах проведения процедуры идентификации параметра k градиентной модели термоупругости (Боровицкая И.В.); в обозначении размерности параметра градиентной модели теплопроводности R_s , (табл. 1 на стр. 9) допущена опечатка (Никулин В.Я.); в тексте автореферата не указываются диапазоны допустимого варьирования толщин слоев композита, при которых гарантируется достоверность результатов численного моделирования с использованием разработанной теоретической модели (Михайлова Г.Н.); растрескивание образцов при экспериментальном определении термостойкости могло быть вызвано не только за счет температурных деформаций, а также за счет фазовых превращений (Михайлова Г.Н.). В тексте автореферата отсутствуют сведения о границах применимости разработанной теоретической модели для описания картины напряженно-деформированного состояния в структуре слоистых композитов (Чернов И.И.).

В отзывах сделан вывод о том, что диссертационная работа Рудштейна Романа Ильича отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что официальные оппоненты являются компетентными учеными в области физики конденсированного состояния (Дидык А.Ю., Хасаншин Р.Х.). Выбор ведущей организации обоснован тем, что ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)» активно занимается исследованиями в областях физики твердого тела, теоретической и экспериментальной физики, энергетики и прикладной математики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны универсальная модель для прогнозирования свойств слоистых композитов, предназначенных для применения в условиях интенсивных и резко меняющихся тепловых воздействий, систематически учитывающая температурные зависимости теплофизических и механических характеристик составляющих компонентов; критерии аналитической оценки прочности и термостойкости слоистых композитов;

предложены алгоритмы решения математических задач оптимизации структурных параметров слоистого композита с целью достижения требуемого набора физико-механических характеристик конечного материала; универсальный многоэтапный технологический способ получения слоистых композитов с требуемыми структурными параметрами; конструкционная схема узла передачи высокотемпературного теплоносителя, выполненного на основе слоистого композита и экранно-вакуумной теплоизоляции;

доказаны перспективность использования композитов на основе металлокерамической системы Al_2O_3-Cr со слоистой анизотропной структурой в качестве конструкционного материала для теплонапряженных узлов современных энергодвигательных установок; целесообразность выбора метода шликерного пленочного литья в качестве технологического способа получения слоистых композитов; преимущество использования градиентного подхода к описанию температурных полей и картины напряженно-деформированного состояния применительно к наноструктурированным тонкослойным материалам и покрытиям;

введены понятия о задачах конструкционной и функциональной оптимизации структуры слоистых композитов, направленных на достижение минимального уровня деформаций в структуре и минимизацию эффективного коэффициента теплопроводности материала соответственно; понятие идентификации параметров градиентных моделей, под которым подразумевается процедура определения указанных параметров на основе экспериментальных данных.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность применения градиентных теорий для уточнения полей температур, напряжений и деформаций в тонкослойных слоистых структурах и оценки прочности таких систем;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** градиентные теории теплопроводности и термоупругости; специальные алгоритмы поиска локального и глобального минимумов целевой функции в задачах нелинейной оптимизации; метод плазмохимического синтеза нанопорошков; технологический метод шликерного пленочного литья; комплекс экспериментальных методов и методик исследования свойств материала, таких как: рас-

тровая электронная микроскопия, рентгеновский энергодисперсионный микроанализ, рентгеноструктурный анализ, КР-спектрометрия, метод Виккерса, пикнометрический метод, метод БЭТ определения удельной площади поверхности, ультразвуковая резонансная спектроскопия, метод трехточечного изгиба, метод SENB оценки трещиностойкости, дилатометрия, термогравиметрический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия, метод лазерной вспышки;

изложены: комплексный подход к описанию и прогнозированию теплофизических и термомеханических свойств слоистого композита, а также оптимизации его структурных параметров; описание технологических режимов и циклов синтеза слоистого композита на основе системы оксид алюминия – хром; конструкционная схема узла передачи высокотемпературного теплоносителя на основе слоистых композитных структур на борту космических аппаратов;

раскрыты особенности распределения полей температур, напряжений и деформаций на межфазных границах слоистых композитов; особенности влияния структурных параметров композита на его конечные физико-механические свойства; особенности влияния технологических режимов получения материала на его конечные структурные характеристики;

изучены закономерности и физические механизмы протекания теплофизических и термомеханических процессов в структуре слоистых металлокерамических композиционных материалов; характер разрушения слоистых структур в условиях высокоградиентных температурных воздействий; закономерности протекания тепловых процессов в слое экранно-вакуумной теплоизоляции высокотемпературного трубопровода;

проведена модернизация градиентных теорий теплопроводности и термоупругости, в которой учтены температурные зависимости теплофизических коэффициентов материалов слоев композита; алгоритмов нелинейной оптимизации применительно к решению задач структурной оптимизации композита и идентификации параметров градиентных моделей; метода шликерного пленочного литья, послужившего основой технологического процесса получения образцов слоистого композита.

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

разработан и внедрен комплекс теоретических, технологических и экспериментальных методов разработки и создания высокотемпературных слоистых композиционных материалов с заданным набором физико-механических свойств для применения в условиях интенсивных тепловых и механических воздействий; полученные результаты использованы в ГНЦ ФГУП «Центр Кел-

дыша» при выполнении работ в рамках государственного контракта (СЧ НИР «Магистраль» (Нано));

определены перспективы применения слоистых композиционных материалов с анизотропной структурой на основе системы оксид алюминия – хром в качестве конструкционного материала теплонапряженных узлов современных энергоустановок;

создан универсальный алгоритм и программный комплекс для прогнозирования теплофизических и термомеханических свойств высокотемпературных слоистых композитов;

представлены рекомендации по разработке и оптимизации характеристик высокотемпературных слоистых композиционных материалов;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория: все теоретические положения, модели и результаты верифицированы путем сопоставления с экспериментальными данными, а также результатами, опубликованными другими исследователями и освещенными в литературных источниках;

идея уточненного описания и прогнозирования физико-механических свойств слоистых композитов **базируется** на современных зарекомендовавших себя градиентных теориях, освещенных в литературе, а также известных физических закономерностях;

использовано сравнение результатов и выводов, полученных автором, с литературными данными о физических свойствах многослойных композиционных структур, а также теоретических методах их описания и технологических способах получения;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках (Zhou Z., Ding P., Tan S., Lan J., Polyanskii M., Savushkina S.);

использованы современные компьютеризированные методы обработки и визуализации массивов полученных расчетных и экспериментальных данных, а также численные методы моделирования физических процессов с использованием известных физических соотношений.

Личный вклад соискателя состоит в: определении путей решения поставленных задач; разработке и адаптации теоретических моделей и алгоритмов для описания и оптимизации физико-механических свойств слоистых композитов; разработке программного обеспечения для автоматизации многопараметрического вычислительного процесса; модернизации технологического оборудования; отработке технологических режимов получения образцов композита; обработке и сопоставлении массивов расчетных и экспериментальных

данных и проведении верификации разработанных моделей; анализе и обобщении полученных результатов; подготовке публикаций по теме исследования.

Диссертация соответствует п.п. 1 и 5 паспорта научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., так как в ней содержится решение важной для физики конденсированного состояния задачи, связанной с прогнозированием теплофизических и механических свойств высокотемпературных слоистых композиционных материалов с заданным набором характеристик для применения в условиях интенсивных и резко меняющихся тепловых воздействий в составе узлов энергетических и двигательных установок космического и промышленного назначения.

На заседании 23 марта 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Рудштейну Роману Ильичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 15 докторов наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Коржавый Алексей Пантелеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Лоскутов Сергей Александрович

Дата оформления Заключения 23 марта 2016 года