

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационного совета Д 003.038.02 на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 01.03.2019 г., № 123

О присуждении Суходоевой Надежде Вячеславовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование закономерностей разрушения защитных оксидных слоев и теплозащитных покрытий монокристаллических жаропрочных никелевых сплавов в условиях высокотемпературного воздействия» по специальности 05.16.09 «Материаловедение» (машиностроение) принята к защите 04.12.2018 г., протокол № 117, диссертационным советом Д 003.038.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), 634055, г. Томск, пр-т Академический, д. 2/4; приказ Рособнадзора о создании диссертационного совета № 1-32 от 18.01.2008 г.; приказ о продлении работы № 2059-2733 от 26.10.2009 г.; приказ о переименовании диссертационных советов № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель **Суходоева Надежда Вячеславовна**, 1987 года рождения, в 2011 г. с отличием окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»), в настоящее время Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», СФУ). С 01.10.2011 г. по 01.04.2016 г. обучалась в очной аспирантуре СФУ. В 2018 г. была прикреплена к аспирантуре ИФПМ СО РАН в качестве экстерна, сдала кандидатские экзамены по специальности 05.16.09 **Материаловедение (машиностроение)**. С 2012 г. по настоящее время работает в должности инженера на кафедре прикладной механики СФУ.

Диссертация выполнена на кафедре прикладной механики СФУ и в лаборатории вычислительной механики и риск-анализа Красноярского филиала Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук – Специального конструкторско-технологического бюро «Наука» (СКТБ «Наука» ИВТ СО РАН).

Научные руководители: доктор технических наук, профессор **Москвичев Владимир Викторович** – директор СКТБ «Наука» ИВТ СО РАН (основное место работы), заведующий кафедрой диагностики и безопасности технических систем СФУ (работа по совместительству); кандидат технических наук, доцент **Федорова Елена Николаевна** – доцент кафедры прикладной механики СФУ (основное место работы), старший научный сотрудник лаборатории вычислительной механики и риск-анализа СКТБ «Наука» ИВТ СО РАН (по совместительству).

Официальные оппоненты: **Пугачева Наталья Борисовна** – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории микромеханики материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург); **Равилов Ринат Галимчанович** – кандидат технических наук, главный металлург Лыткаринского машиностроительного завода Публичного акционерного общества «Объединенная двигателестроительная корпорация – Уфимское моторостроительное производственное объединение» (г. Лыткарино), дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»** (г. Томск) в своем положительном отзыве, подписанном **Ремневым Геннадием Ефимовичем** доктором технических наук, профессором, зав. Научно-производственной лабораторией «Импульсно-пучковых, электроразрядных и плазменных технологий», и утвержденном проектором по научной работе и инновациям **Степановым Игорем Борисовичем**, подчеркнула актуальность темы диссертации, научную новизну, теоретическую и практическую значимость ее результатов, степень обоснованности и достоверность основных выводов и результатов; сделала замечания, не снижающие научную значимость полученных экспериментальных и теоретических результатов; указала, что диссертация соответствует требованиям пункта II.9 Положения о присуждении ученых степеней и является законченной научно-квалификационной работой в которой, «установлены закономерности разрушения защитных оксидных слоев, сформулированы условия их

разрушения, а также даны рекомендации по режимам охлаждения для обеспечения целостности границы раздела металл/оксид», которые «могут быть положены в основу разработки рекомендаций для предприятий, специализирующихся на работах по нанесению систем теплозащитных покрытий».

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, посвященных определению физико-механических свойств защитных оксидных слоев методом наноиндентирования; исследованию влияния режимов охлаждения на закономерности разрушения защитных оксидных слоев на поверхности монокристаллических жаропрочных никелевых сплавов в условиях высокотемпературного окисления; определению влияния подготовки поверхности жаропрочных сплавов ионами аргона на адгезию в системе металл/оксид при последующем высокотемпературном окислении (4 – в рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 1 – в журнале, включенном в библиографические базы данных цитирования Scopus). Полный объем научных изданий составляет порядка 50 машинописных листов, авторский вклад в различных публикациях – не менее 50 %.

Наиболее значимые работы: 1. Суходоева, Н. В. Влияние скорости охлаждения на механизмы разрушения защитных оксидных слоев на поверхности жаропрочных никелевых сплавов после высокотемпературного окисления / Н.В. Суходоева, /В.В. Москвичев, Е.Н. Федорова // Журнал СФУ. Техника и технологии. – 2017. – Т.10. –№ 7. – С. 952-960.; 2. Москвичев, В. В. Оценка энергии адгезии в системе металл/оксид для случая высокотемпературного окисления жаропрочных никелевых сплавов / В. В. Москвичев, Н. В. Суходоева, Е. Н. Федорова // Деформация и разрушение материалов. – 2017. – №2. – С. 34-40.; Суходоева, Н. В. Воздействие ионами аргона для подготовки поверхностей металлических материалов / Н.В. Суходоева, Е.Н. Федорова, Г.М. Зеер, С.А. Худогов // Материаловедение. – 2016. – №8. – С. 16-21; Суходоева, Н. В. Определение физико-механических свойств защитного оксидного слоя методом наноиндентирования / Н.В. Суходоева, Е.Н. Федорова, Д. Монсо, Д. Окаб, В. Турк // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. М.Ф.Решетнева. – 2014. – Т. 53. – №1. – С.174-179.

На автореферат диссертации прислали положительные отзывы, без замечаний: **Коваль Николай Николаевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории плазменной эмиссионной электроники (ФГБУН Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск); с замечаниями: **Большаков Александр**

Михайлович, доктор технических наук, профессор РАН, временно исполняющий обязанности директора и **Винокуров Геннадий Георгиевич**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела материаловедения (ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск): 1) об отсутствии сведений о технологии получения покрытий; 2) об изменении параметров шероховатости при обработке поверхности сплавов ионными пучками; **Ботвина Людмила Рафаиловна**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории структурной механики и физики разрушения (ФГБУН Институт металлургии им. А.А. Байкова РАН, г. Москва): 1) об отсутствии первичных результатов наноиндентирования и скретч-испытаний; 2) о возможности применения метода оценки трещиностойкости покрытия по длине трещин от индентора; **Гуревич Леонид Моисеевич** доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и композиционные материалы» и **Богданов Артем Игоревич** кандидат технических наук, доцент этой же кафедры (ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»): 1) об отсутствии результатов рентгенофазового и энергодисперсионного анализа в автореферате; 2) об отсутствии согласия результатов глав 3, 4 и 5; **Корниенко Елена Евгеньевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения в машиностроении (ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»): 1) о недостаточной информативности рисунка 1; 2) нет объяснения отсутствия слоя NiO в сплаве AM1; 3) об отсутствии в автореферате рисунка 3 б, на который сделана ссылка; **Крушенко Генрих Гаврилович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института вычислительного моделирования (ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр» СО РАН): 1) об отсутствии информации о граничных условий и об учете изменений механических свойств компонентов системы при моделировании; **Николаева Наталия Сергеевна**, кандидат технических наук, научный сотрудник ФГБУН Института неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск): об отсутствии сведений о технологии ионного модифицирования и о влиянии давления реакционного газа на особенности оксидных слоев; **Новиков Евгений Сергеевич**, кандидат технических наук, начальник конструкторского бюро «Авиационные приводы» (ФГУП «Центральный Институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва): 1) об отсутствии описания метода определения характеристик адгезии; 2) о несоответствии цели и

названия работы; 3) о не учете автором температурных деформаций при нагревах и охлаждениях авиационных лопаток; 4) об отсутствии сравнения экспериментальных результатов и расчетов автора; **Прохоров Валерий Афанасьевич** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная механика» (ФГБОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Якутск): 1) не указаны недостатки существующих методик испытаний и применения теоретических значений физико-механических свойств при обработке результатов испытаний; 2) не указано, какие возникают растягивающие напряжения и как их снять или снизить; **Пыхалов Александр Анатольевич** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Физика, механика и приборостроение» (ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщений»): 1) об отсутствии сведений о программном комплексе, на котором проводилось моделирование методом конечных элементов; 2) не указано, было ли использовано решение контактной задачи при моделировании.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в сфере исследований, которым посвящена диссертация, и публикациями по данной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **разработан** метод определения характеристик адгезии в системе металл/оксид, учитывающий микроструктурные особенности защитных оксидных слоев, возникающие в них внутренние напряжения, тип разрушения и геометрические параметры дефектов; **предложен** комплексный подход к исследованию закономерностей разрушения защитных оксидных слоев и теплозащитных покрытий; **доказана** возможность применения ионного облучения аргоном в качестве предварительной подготовки поверхности монокристаллических жаропрочных никелевых сплавов для повышения адгезии в системе металл/оксид при последующем высокотемпературном окислении.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что **доказаны** положения, вносящие существенный вклад в развитие и расширение представлений о закономерностях разрушения защитных оксидных слоев и теплозащитных покрытий в условиях высокотемпературного воздействия; **применительно к проблематике диссертации эффективно (т.е. с получением обладающих новизной результатов) использованы** современные расчетные методы и методы анализа микроструктуры и физико-механических свойств; **изложены** доказательства эффективности применения

облучения ионами аргона для предварительной подготовки поверхности монокристаллических жаропрочных никелевых сплавов с целью повышения адгезии и формирования бездефектных защитных оксидных слоев при последующем высокотемпературном окислении; **раскрыты** особенности влияния режимов охлаждения на поведение защитных оксидных слоев при разрушении; **изучена** причинно-следственная связь между геометрическими параметрами дефектов, границ раздела слоев теплозащитной системы и распределением внутренних напряжений теплозащитных покрытиях на рабочих лопатках газотурбинных двигателей; **проведена модернизация** метода определения характеристик адгезии, позволяющая учитывать микроструктурные особенности защитных оксидных слоев, возникающие в них внутренние напряжения, геометрические параметры дефектов и тип разрушения.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что для Сборника нормативно-технических документов в области расчетов и испытаний на прочность в машиностроении (Росстандарт); **разработаны** методические рекомендации «Определение работы адгезии защитных оксидных слоев на поверхности жаропрочных и жаростойких сплавов методом склерометрии» для специалистов, проводящих испытания на адгезию защитных оксидных слоев; **определены** перспективы практического применения облучения ионами аргона в качестве предварительной подготовки поверхности для повышения адгезии в системе металл/оксид при последующем высокотемпературном воздействии; **создана** система практических рекомендаций для обеспечения целостности границы раздела, а также повышения адгезии в системе металл/оксид и ТЗП; **представлены** методические рекомендации, регламентирующие процедуру по определению работы адгезии защитных оксидных слоев на поверхности жаропрочных сплавов при скретч-испытаниях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что **результаты получены** с применением современного комплекса сертифицированного измерительного оборудования; **теория** построена на известных проверяемых данных, согласуется с опубликованными ранее материалами по теме диссертации и исследованиями в смежных областях; **идея базируется** на анализе и обобщении литературных источников по теме диссертации и передового опыта в области исследования защитных покрытий и многослойных систем; **использовано** сравнение полученных данных с результатами исследований других авторов по тематике

диссертации; **установлено** качественное совпадение результатов работы с представленными в литературных источниках по теме диссертации; **использованы** современные методики сбора и обработки экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в проведении моделирования и экспериментальных исследований, обработке и представлении результатов экспериментов; в обсуждении и постановке исследовательских задач, положений и выводов, выносимых на защиту совместно с научными руководителями; подготовке публикаций по теме исследования.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Суходоевой Надежды Вячеславовны соответствует пункту II.9 Положения о присуждении ученых степеней и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предложены научно обоснованные технические решения по созданию бездефектных многослойных защитных оксидных слоев и теплозащитных покрытий на монокристаллических жаропрочных сплава, имеющие важное значение для авиационной и теплоэнергетической отраслей.

На заседании 01.03.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Суходоевой Надежде Вячеславовне ученую степень кандидата технических наук. При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 16 человек, из них 4 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно никого не вводили, проголосовали: «за» – 15, «против» – 1, недействительных бюллетеней – 0.



Зам. председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

Сергей Николаевич Кульков

Владимир Иванович Данилов

« 01 » марта 2019 г.